

EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL DE LAS
EDIFICACIONES INDISPENSABLES DEL SECTOR TRES DE SANTA
ROSA DE CABAL

AUXILIARES DE INVESTIGACIÓN:
MARÍA CAMILA GIRALDO AGUDELO
JUANITA VANEGAS GALLO

UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA INGENIERÍA CIVIL
PEREIRA, RISARALDA
2017

EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL DE LAS
EDIFICACIONES INDISPENSABLES DEL SECTOR TRES DE SANTA
ROSA DE CABAL

AUXILIARES DE INVESTIGACIÓN:
MARÍA CAMILA GIRALDO AGUDELO
JUANITA VANEGAS GALLO

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:
GESTIÓN DE RIESGO Y DESARROLLO SOSTENIBLE

INVESTIGADOR PRINCIPAL:
ING. ALEJANDRO ALZATE BUITRAGO

UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA INGENIERÍA CIVIL
PEREIRA, RISARALDA

2017

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN.....	9
ABSTRACT.....	10
INTRODUCCIÓN.....	11
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	14
1.2 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	16
2. JUSTIFICACIÓN	17
3. OBJETIVOS	20
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	20
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
4. MARCO REFERENCIAL.....	21
4.1 MARCO TEÓRICO	21
4.1.1 Comportamiento Estructural.....	21
4.1.2 Mampostería no reforzada	21
4.1.3 Pórticos	22
4.1.4 Daños Estructurales	23
4.1.5 Edificaciones Indispensables	24
4.1.6 Microzonificación Sísmica	25
4.1.7 Vulnerabilidad Sísmica	26
4.1.8 Efectos de un sismo	27

4.1.9 Modelación Estructural	28
4.1.10 Normas Colombianas de Diseño Sismo resistente	28
4.2 MARCO CONCEPTUAL	30
4.3 MARCO LEGAL	33
4.4 MARCO DE ANTECEDENTES	35
5. DISEÑO METODOLÓGICO	44
5.1 LUGAR DE INVESTIGACIÓN	44
5.2 ENFOQUE INVESTIGATIVO.....	45
5.3 TIPO DE ESTUDIO.....	45
5.4 MATRIZ DE DISEÑO METODOLÓGICO	46
5.5 FASES DE LA INVESTIGACIÓN.....	46
5.5.1 Evaluación de la vulnerabilidad estructural	47
5.5.2 Información estructural y arquitectónica	48
5.5.3 Modelación estructural	48
5.5.4 Resultados de la investigación	49
6. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	50
6.1 EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL DE LAS INSTITUCIONES EDUCATIVAS DE SANTA ROSA DE CABAL	50
6.2 INFORMACIÓN ESTRUCTURAL Y ARQUITECTÓNICA.....	54
6.3 MODELACIÓN ESTRUCTURAL	55
6.3.1 Estructuras de un piso.....	55
6.3.2 Pórticos.	56
6.3.3 Muros Estructurales.....	56
6.3.4 Resultados del Chequeo para Estructuras de un piso	57
6.3.5 Estructuras de dos pisos	60

6.3.6 PROCEDIMIENTO MODELACIÓN ESTRUCTURAL.....	60
6.4 RESULTADOS MODELACIÓN ESTRUCTURAL.....	68
6.5 Estructura en madera (Escuela Simón Bolívar).....	72
7. MODIFICACIONES RECOMENDADAS PARA LAS INSTITUCIONES EDUCATIVAS ANALIZADAS.....	75
8. CONCLUSIONES.....	77
9. RECOMENDACIONES	80
BIBLIOGRAFÍA.....	82

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Marco normativo	33
Tabla 2. Caracterización de las instituciones educativas intervenidas.....	44
Tabla 3. Matriz diseño metodológico	46
Tabla 4. Caracterización de las instituciones educativas analizadas.....	50
Tabla 5. Chequeo de pórticos para estructuras de un piso.....	56
Tabla 6. Chequeo de muros estructurales para estructuras de un piso.....	56
Tabla 7. Resultados de chequeos para estructuras de un piso.	57
Tabla 8. Resultados de la modelación estructural de las escuelas.....	68
Tabla 9. Requerimientos de mejoramiento de las instituciones educativas ..	75

LISTA DE GRÁFICAS

Pág.

Gráfica 1. Número de pisos Instituciones Educativas	51
Gráfica 2. Sistema estructural.....	51
Gráfica 3. Vulnerabilidad.....	52
Gráfica 4. Nivel de daño	53
Gráfica 5. Elementos analizados escuela la Milagrosa Urbana	57
Gráfica 6. Elementos analizados Escuela Simón Bolívar	58
Gráfica 7. Elementos analizados Escuela Antonia Santos – Juan XXIII	59
Gráfica 8. Modelación estructural de la escuela Antonio Santos –Juan XXIII	69
Gráfica 9. Modelación estructural de las escuelas San Vicente Paul	69
Gráfica 10. Modelación estructural de la Institución Lorencita Villegas de Santos.....	70

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Formato de captura de datos para evaluación estructural	47
Figura 2. Planos de la institución educativa San Vicente de Paul	54
Figura 3. Planos de la institución educativa Lorencita Villegas de Santos....	54
Figura 4.Espaciamiento de grilla y características.	61
Figura 5.Propiedades de los materiales.....	61
Figura 6.Secciones de columnas.	62
Figura 7.Secciones de vigas.	62
Figura 8.Propiedades del entrepiso.	63
Figura 9.Estructura con elementos correspondientes.....	63
Figura 10.Estructura con losa.	64
Figura 11.Empotramiento.	64
Figura 12.Diafragma	65
Figura 13.Espectro de diseño.	65
Figura 14.Cargas	66
Figura 15.Combinaciones de cargas.	66
Figura 16.Cargas de entrepiso. (Viva-Muerta).	67
Figura 17.Análisis final de la estructura.	67

RESUMEN

El diseño, construcción y supervisión técnica de las edificaciones en Colombia se deben someter con carácter obligatorio a los criterios y requisitos mínimos de la norma sismo resistente que se encuentra contenida en el Reglamento Colombiano de construcciones sismo resistentes NSR-10, dentro de este contexto las administraciones municipales deben velar por el cumplimiento de estos requisitos en las infraestructuras a cargo de ellas, en el caso del municipio de Santa Rosa de Cabal específicamente las subsecretaría de obras públicas e infraestructura y la secretaria de educación no cuentan con un estudio que les permita conocer la vulnerabilidad estructural en sus instituciones educativas que les permita diseñar un plan de mejoras a corto y mediano plazo para garantizar el cumplimiento de la norma NSR-10. Entendiendo la importancia de que estas infraestructuras garanticen los mínimos requeridos en sus construcciones para minimizar los riesgos para la comunidad estudiantil y personal que laboran en ellas, se hace necesario realizar una evaluación de las condiciones físico – estructurales de las instituciones educativas, siendo este el objetivo de esta investigación, que evaluó la vulnerabilidad estructural de las instituciones educativas del sector tres, objetivo que se logró mediante la aplicación de herramientas de ingeniería como: fichas de caracterización, levantamiento estructural, uso de planos disponibles de las instituciones educativas evaluadas; modelación por medio del software ETABS, concluyendo que las 5 instituciones educativas evaluadas no cumplían con los requisitos de deriva e índice de sobre esfuerzo requeridos en la NSR-10, tal que la deriva no puede ser mayor al 1% y el índice de sobre esfuerzo no debe superar la unidad; los colegios en los cuales se alberga mayor cantidad de estudiantes presentaron buenas condiciones, pero aun así siguen sin cumplir con los parámetros de la norma de sismo resistencia, en general los resultados para todas las instituciones son

deficientes, por lo que evidencia un alto índice de vulnerabilidad para toda la comunidad que acuden a estos centros educativos regularmente.

ABSTRACT

The design, construction and technical supervision of buildings in Colombia must be subject to mandatory criteria and minimum requirements of the resistant earthquake norm that is contained in the Colombian Regulation of seismic resistant constructions NSR-10, within this context the municipal administrations must ensure compliance with these requirements in the infrastructure in charge of them, in the case of the municipality of Santa Rosa de Cabal specifically the undersecretary of public works and infrastructure and the secretary of education do not have a study that allows them to know structural vulnerability in their educational institutions that allows them to design a short and medium term improvement plan to guarantee compliance with the NSR-10 standard. Understanding the importance of these infrastructures guaranteeing the minimum required in their constructions to minimize the risks for the student and staff community that work in them, it is necessary to make an evaluation of the physical - structural conditions of the educational institutions, this being the objective of this research, which evaluated the structural vulnerability of the educational institutions of sector three, an objective that was achieved through the application of engineering tools such as: characterization sheets, structural survey, use of available drawings of the educational institutions evaluated; Modeling by means of the ETABS software, concluding that the 5 educational institutions evaluated did not have the drift and index of effort requirements required in the NSR-10, the schools in which the greatest number of students is housed presented good conditions, but Thus, they still do not comply with the parameters of the earthquake resistance norm, in general the results for all the institutions are deficient, which is why there is a high vulnerability index for the whole community that regularly attend these school

INTRODUCCIÓN

Colombia se encuentra en un sitio de choque entre la placa del Caribe y la placa Nazca, lo que se traduce en la existencia de múltiples fallas geológicas que atraviesan el país, una de las más activas, y que afecta al municipio de Santa Rosa de Cabal es la falla del romeral, que evidenció sus efectos en el terremoto del año 1999, donde según el informe censal ocurrido en el siniestro se afectaron 292 hogares y 2.941 alumnos que por averías en las instituciones educativas se quedaron sin clases, dejando a la luz las fallas sismo resistentes de estas infraestructuras¹.

Dados los antecedentes de los eventos sísmicos el gobierno nacional ha legislado en este sentido tratando de mitigar la vulnerabilidad del país frente a ellos, es así como la ley 1523 de 2012 de gestión del riesgo de desastres, exige a todos los municipios del país adoptar un plan de prevención de riesgos; dando respuesta a la necesidad de aplicación de la ley mencionada debido a los impactos directos en el municipio de Santa Rosa de Cabal por los sismos, se desarrolló ésta propuesta investigativa con el interés de evaluar los riesgos estructurales que se presentan en las edificaciones indispensables.

El objetivo de esta propuesta fue evaluar las condiciones físico-estructurales de las edificaciones correspondientes a las instituciones educativas ubicadas en el municipio de Santa Rosa de Cabal, contribuyendo al cumplimiento de la ley 1523 hacia el sector educativo público, disminuyendo el riesgo y aumentando las posibilidades de vida de las personas que acuden a este tipo de establecimientos ante un evento de sismo.

¹ VALENCIA BARRERA, Gonzalo. Acciones para la reconstrucción del eje cafetero: memoria colectiva de un proceso. [En línea] 2000. [Citado el: 25 de octubre de 2017.] Disponible en <<https://www.federaciondecafeteros.org/static/.../Acciones%20para%20la%20reconstru.>>

Para el cumplimiento de los objetivos se realizó una revisión bibliográfica de antecedentes y marco teórico que permitió el acercamiento a las bases teóricas para el desarrollo de las fases de la investigación recopilados en los capítulos del 1 al 5 y presentación de los resultados que se resumieron así capítulo 6. contiene los resultados de la aplicación del formato de captura de datos para la vulnerabilidad estructural de las edificaciones aplicada a cinco instituciones educativas del municipio, en el cual se encuentran los aspectos más importantes para tener en cuenta en un diagnostico físico de las estructuras, como lo son el uso, el terreno, la cimentación, información general de la estructura, sistema estructural, vulnerabilidad, daños, entre otros. Después de realizar la visita de campo y la inspección visual para evaluar los aspectos que se mencionaron anteriormente, se realiza el levantamiento de los elementos estructurales en el caso de no contar con planos existentes de las instituciones, resultados compilados en el capítulo 7.

Posteriormente, con la ayuda de los planos que se realizaron, se hace la modelación en el software ETABS, el cual evalúo las estructuras y determino los elementos más vulnerables de la edificación. Según los resultados arrojados por el software, se buscó la posible solución de refuerzo más acertada para cada caso, se presentaron las recomendaciones adecuadas para cada estructura, y de esta forma dar cumplimiento a la normativa presente.

De manera concluyente después de realizar este proceso, se observó que la mayoría las instituciones educativas estudiadas no cumplen con la norma NSR-10, ya que las estructuras no cumplen principalmente con las dimensiones mínimas de columnas y vigas y por ende con el sistema estructural requerido en el Título A de la NSR-10, donde se hace referencia a que las estructuras indispensables pertenecientes al grupo III, deben ser en pórticos.

Con los resultados de esta investigación, se entregaron las bases para que las autoridades municipales tales como: Dirección de Núcleos de Desarrollo Educativo, la Oficina Municipal para la Prevención y Atención de Desastres, la Secretaría de Educación y la Secretaría de Obras Públicas e Infraestructura, establezcan las acciones requeridas para reducir los factores generadores de riesgo en el territorio municipal y en particular la vulnerabilidad física y funcional de las instituciones educativas evaluadas.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La determinación del riesgo sísmico en una región es una herramienta muy útil para una planificación urbana. Todos los componentes de un complejo urbano son potencialmente vulnerables, incluyendo la infraestructura existente, construidas a la par con el desarrollo y crecimiento de las ciudades para satisfacer las necesidades y servicios de la comunidad y dentro de las cuales sobresalen por su importancia.

En Colombia, la mayoría de las edificaciones se construyeron antes del desarrollo de la primera Norma Sismo resistente, la cual fue implementada después de los desastres ocurridos tras el sismo en Popayán (1983). Mediante la Ley 400 de 1997, entró en vigencia la norma NSR-98, la cual planteaba nuevas exigencias en el diseño y construcción de edificaciones indispensables, en su diseño e intervención; Sin embargo, mientras estas normas no fueron implementadas no fue posible atenuar o mitigar los efectos ante un evento sísmico. Un ejemplo claro, fue el sismo en el Eje Cafetero (1999) donde los efectos del sismo en términos de vida humana y de pérdidas económicas fueron debutantes, pero donde más se notaron estos daños fueron en las instalaciones educativas.

Según el ingeniero José Luis Alfonso G. toda edificación del grupo (III) construida o a ser construida en una zona sísmica, debe poseer un conjunto de elementos que suministren la resistencia, la rigidez y ductilidad necesarias para soportar las acciones sísmicas previstas para esa zona, todo esto llamado sistema resistente a sismos.

Las construcciones como colegios tienden a ser edificaciones de gran envergadura y complejidad, lo que conduce a que tengan mayor causa de

daños, ya sea por su esquema de configuración estructural-arquitectónica de forma desfavorable. Puede decirse de forma general que una configuración nociva es bastante castigada por los sismos.

El municipio de Santa Rosa de Cabal se ha visto afectado por dos sismos de gran magnitud desde el año 1970 hasta la actualidad, y sigue estando expuesto a cualquier imprevisto sísmico a futuro. Debido al alto riesgo sísmico que presenta el municipio obliga a todas las entidades encargadas a estudiar la vulnerabilidad física y funcional del sector tres de Santa Rosa de Cabal evidenciando la fragilidad que tienen las estructuras y el peligro que éstas presentan para la comunidad educativa. Adicionalmente, aparte de la obligatoriedad normativa que tiene el municipio y las entidades de infraestructura competentes, el municipio de Santa Rosa de Cabal no cuenta con las capacidades técnicas y logísticas para desarrollar este tipo de ejercicios, los cuales demandan experiencia técnica y profesional, y es por esta razón que los estudiantes del programa de Ingeniería Civil se pueden suplir parcialmente de esta debilidad que presenta el municipio para realizar un proyecto de vulnerabilidad estructural.

Al estimar la vulnerabilidad de cinco colegios del municipio de Santa Rosa de Cabal Lorencita Villegas de Santos, Escuela Simón Bolívar, Escuela San Vicente de Paul, Escuela La Milagrosa Urbana y La Antonia Santos-Juan XXIII, a través de los instrumentos técnicos pertinentes como el formato de vulnerabilidad y al levantar la información estructural y arquitectónica de los mismos, se establece de manera próxima las medidas de mitigación requeridas para el cumplimiento de la NSR-10 para las edificaciones indispensables del sector educativo.

La aplicación de los estudios de vulnerabilidad estructural puede ser utilizados en todos los tipos de estructura y la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de una muestra de colegios del municipio de Santa Rosa de Cabal, se aporta a la identificación de un problema que es relevante para el

municipio y afecta gran parte de la comunidad, ya que la mayoría de las edificaciones no cuentan con un estudio más a fondo.

1.2 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuáles son los elementos estructurales que pondrían en riesgo la vulnerabilidad física y funcional de las edificaciones del sector tres del municipio de Santa Rosa de Cabal?

2. JUSTIFICACIÓN

Según la CARDER en una investigación realizada en el municipio de Santa Rosa de Cabal, denominado Diagnostico de riesgos ambientales, los riesgos del municipio se clasifican en:

Factores de amenaza sísmica: Fuentes sísmicas superficiales. Fallas: Quebrada nueva, Silvia-Pijao, Cauca-Almaguer, Santa Rosa-Río Mapa y Consota, la Argelia, Mistrató, la Isla, Armenia, Montenegro, Palestina. Estas presentes fallas activas están probablemente a 25 Km alrededor del casco urbano de Santa Rosa de Cabal.

Factores de vulnerabilidad física: Según el inventario realizado por el proyecto para la mitigación del riesgo sísmico, existen aproximadamente unas 8.000 edificaciones. Se puede observar que el 60.6% de las edificaciones son de 1 piso el 36.8% de 2 pisos, el 2% de tres pisos y menos del 1% son de más de 4 pisos. El 50.5% son construcciones de ladrillo sin ningún tipo de refuerzo ni confinamiento en concreto.

Categorización del riesgo: Riesgo sísmico alto para las edificaciones e infraestructuras que no se encuentren construidas bajo parámetros de sismo-resistencia.

Igualmente, el municipio puede verse sometido a tres (3) fuentes sismo génicas, las cuales son: Fuente profunda, correspondiente a la zona Wadatti–Benioff, la fuente lejana, correspondiente a la zona de Subducción y las fuentes sísmicas superficiales, concordante a las nombradas anteriormente. Teniendo en cuenta la norma sismo resistente NSR-10, que

clasifica al municipio de Santa Rosa de Cabal como zona de amenaza sísmica alta, debido a las fallas geológicas continentales que lo rodean².

Las razones expuestas dan toda prioridad al objetivo del proyecto planteado de evaluar las edificaciones indispensables en tema estructural y funcional, por la función indispensable que deben cumplir las instituciones educativas del municipio, en las cuales acuden una gran cantidad de personas que visitan las instalaciones diariamente y exponen sus vidas en el momento de un evento sísmico. En lo dicho anteriormente, se puede ver la gran importancia que conlleva la realización de éste proyecto de investigación para así adoptar medidas de mitigación de riesgo a corto y mediano plazo, que garanticen la seguridad de las estructuras ante un evento natural y se pueda ofrecer un mejor servicio de educación, seguridad y bienestar a los allí presentes.

El municipio de Santa Rosa de Cabal, se ve beneficiado ya que, debido a su microzonificación sísmica se evidencia una zona de alta sismicidad, adicional, la mayoría de las edificaciones evaluadas del grupo 3 presentan riesgos de falla en toda su estructura, poniendo en riesgo la vida de las personas, como estudiantes, docentes, personal administrativo, entre otros; todo esto, lleva a buscar una estrategia para reducir el riesgo de desastres en edificaciones indispensables.

Los beneficios de la investigación se reflejan en el cumplimiento del articulado de la NSR-10., dado que después de realizar las modelaciones y las verificaciones de derivas y del índice de sobre esfuerzo, se realizaron las recomendaciones de mejoras de cada institución para que cada una cumpla con los requisitos establecidos en la norma de sismo resistencia colombiana.

² CARDER. Base ambiental con énfasis en riesgos municipio de santa rosa de cabal. [En línea] 2000. [Citado el: 15 de julio de 2017.] Disponible en <www.carder.gov.co/intradocuments/.../base-ambiental-de-riesgo-santa-rosa->

En cuanto a la importancia de reducir el riesgo en edificaciones indispensables, estas estructuras deben tener un riguroso cumplimiento con la norma, ya que allí se albergan una gran cantidad de personas y aparte de esto, cuando ocurren eventos sísmicos de gran magnitud, éstas estructuras deben soportar el sismo y posteriormente, estas deben prestar el servicio de albergue, con éste estudio se benefician en cuanto a seguridad y bienestar 2.700 aproximadamente del municipio de Santa Rosa de Cabal.

La Universidad Libre Seccional Pereira se beneficia con un proyecto de vulnerabilidad sísmica, debido a su gran importancia y envergadura, ya que abarca un gran campo de acción en la carrera de ingeniería civil y da reconocimiento y crecimiento tanto a la universidad como al programa y a sus estudiantes.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar las condiciones físico-estructurales de las edificaciones correspondientes a las instituciones educativas ubicadas en el municipio de Santa Rosa de Cabal.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar una inspección visual de las instituciones educativas para determinar las condiciones en las que se encuentran actualmente.
- Diagnosticar la vulnerabilidad física y funcional de las instituciones educativas seleccionadas en el municipio de santa rosa de cabal, con base en la norma de sismo resistencia colombiana.
- Modelar en el software especializado los índices de sobre-esfuerzo y la deriva, de las instituciones educativas según los estándares de la NSR-10.
- Proponer posibles métodos que ayuden a mejorar la infraestructura para hacerla más funcional en un futuro.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1 MARCO TEÓRICO

En este aparte se desarrolló la teoría que fundamentó el proyecto con base al planteamiento del problema y los objetivos que se querían alcanzar como fueron comportamiento estructural, daños estructurales, vulnerabilidad y modelación estructural.

4.1.1 Comportamiento Estructural

Según Díaz se entiende por comportamiento estructural al funcionamiento de una estructura o edificación bajo algún estado de cargas dependiente de su configuración, localización, sistema estructural, entre otros aspectos propios de la edificación. El comportamiento de una estructura debe estar bajo las diferentes acciones para las que se postule o establezca que debe tener capacidad de respuesta.³

4.1.2 Mampostería no reforzada

El daño de las estructuras no reforzadas, han dejado gran cantidad de escenarios que varían de una zona a otra, dependiendo de diversos factores, tales como; la magnitud del sismo, las características geológicas y geotecnias de la zona y la calidad de las construcciones⁴.

Los principales factores que influyen en los diferentes tipos de fallo de la mampostería no reforzada tienen un peso dentro de la seguridad de la estructura, pero este peso está relacionado con los demás factores, pero

³ BONETT DÍAZ, Ricardo. Vulnerabilidad y riesgo de edificios. Aplicación a entornos urbanos en zonas de amenaza alta y moderada. 2003

⁴ Ibíd. p.

independiente cada uno de ellos. Por lo tanto, es indispensable que para cada zona se haga una evaluación rigurosa de los parámetros que condicionan la resistencia de las estructuras frente a las cargas que produce un sismo y para que puedan identificarse las principales causantes de daño y las estrategias para el reforzamiento para disminuir el riesgo al cual están expuestas, estos factores son:

- Fallos fuera del plano
- Fallos en el plano
- Fallos en el plano por cortante
- Fallos en el plano por flexión
- Fallos de anclaje o conexión
- Flexibilidad de los diafragmas y resistencia
- Daños por impacto
- Fallos de fundación y deformaciones permanentes
- Fallos inducidos por configuración
- Amplificaciones de los suelos blandos
- Calidad de los materiales
- Edad de la construcción

4.1.3 Pórticos

Los pórticos están formados por vigas y columnas, conectados entre sí por medio de nodos rígidos, lo cual permite la transferencia de los momentos flectores y las cargas axiales hacia las columnas⁵.

Otro autor como Bonett indica que la selección apropiada del sistema de pórticos es esencial para un buen desempeño de la estructura sometida a

⁵ BOZZO , Luís y BARBAT, Alex. Diseño Sismo Resistente de Edificaciones. [ed.] Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona: Editorial Reverte, S.A, 2013.

cualquier tipo de acción dinámica. Las estructuras que tienen una distribución simple, regular, continua y con un sistema resistente a cargas, presentan un buen desempeño durante los movimientos sísmicos⁶.

A continuación, se presentan algunos de los factores más relevantes que influyen en el comportamiento sísmico de las estructuras con concreto reforzado:

- Continuidad
- Regularidad
- Rigidez
- Proximidad a las estructuras adyacentes
- Masa
- Redundancia
- Daños producidos por sismos anteriores
- Refuerzo transversal
- Anclajes y conexiones

4.1.4 Daños Estructurales

Según Safina Melone Salvador el daño estructural depende del comportamiento de los elementos que forman parte del sistema resistente tales como vigas, pilares, muros, forjados, etc. Se relaciona con las características de los materiales que le componen, su configuración y ensamblaje, el tipo del sistema resistente y las características de la acción. Se cuantifica mediante índices de daño correspondientes a cada uno de los elementos estructurales, cuya ponderación sobre parte o la totalidad de la estructura, permite la definición de los llamados índices de daño globales⁷.

⁶ BONETT DÍAZ, Ricardo. Vulnerabilidad y riesgo de edificios. Aplicación a entornos urbanos en zonas de amenaza alta y moderada. 2003

⁷ MELONE, Salvador. 2002. Vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña Escuela Técnica Superior de Ingenieros de, 2002

Según Carreño, Cardona y Barbat los posibles daños por sismos dependen de la fuente sísmica, la magnitud del fenómeno, la distancia al epicentro y las condiciones del suelo en el sitio. Los daños pueden dividirse en:

- Colapso total de la estructura.
- Daños estructurales es técnica y/o económicamente irreparables, lo que implica su posterior demolición.
- Daños estructurales y no estructurales (muros, instalaciones hidráulicas y sanitarias, ascensores, entre otros) que inhabilitan el edificio para su uso.
- Daños estructurales y no estructurales leves y puntuales que no afectan o afectan sólo parcialmente el uso de la estructura.

4.1.5 Edificaciones Indispensables

Según la Norma Sismo Resistente (NSR-10) las edificaciones indispensables son aquellos equipamientos urbanos de atención a la comunidad que deben funcionar durante y después de un sismo, cuya operación no puede ser trasladada rápidamente a un lugar alterno.⁸

El concepto de edificación indispensable se limita en considerar aquellas edificaciones que albergan instalaciones y/o dependencias cuyo funcionamiento en condiciones de emergencia debidas a una crisis sísmica, es crítica y vital para afrontar las consecuencias inherentes de desastre natural. Aquellas son que necesarias para atender la emergencia y preservar la salud, seguridad y atención de la población después de un sismo⁹.

⁸ MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10. [En línea] 2010. [Citado el: 20 de octubre de 2017.] Disponible en <<https://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/titulo-a-nsr-100.pdf>>

⁹ MELONE, Salvador. 2002. Vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña Escuela Técnica Superior de Ingenieros de, 2002

Según E.E. Muñoz, D.M. Ruiz. J.A. Prieto–S. A. Ramos el Congreso de la República de Colombia expidió una serie de leyes para que a las edificaciones cuyo uso se clasifique como indispensable y de atención a la comunidad, localizadas en zonas de amenaza sísmica alta e intermedia construidas con anterioridad al año 1998, se les evalúe su vulnerabilidad sísmica. Por esta razón en el año 2001 se llevó a cabo un estudio de vulnerabilidad sísmica estructural de las instalaciones de una edificación indispensable para lo cual se llevaron a cabo diferentes actividades que se describirán a continuación: Recopilación de información existente y visitas técnicas de inspección, evaluación patológica, estudios de amenazas sísmicas locales y evaluación de la vulnerabilidad sísmica estructural¹⁰.

4.1.6 Microzonificación Sísmica

de acuerdo a la CARDER la microzonificación sísmica de una ciudad consiste en establecer zonas de suelos con comportamiento dinámico similar, de manera que puedan establecerse allí recomendaciones específicas para el diseño y construcción de edificaciones. sismo-resistentes.

Según González Raynal Bertha E. la prevención y mitigación del riesgo sísmico se ha convertido en una necesidad imperiosa, no sólo para los países más propensos a los sismos, sino también, para los de baja y moderada sismicidad. Esto se debe a los impactos negativos de los terremotos en la economía y el medio ambiente de las grandes ciudades, debido a sus efectos directos y secundarios asociados. Los mapas de microzonificación sísmica son una importante herramienta para el

¹⁰ MUÑOZ, Edgar, RUIZ, Daniel y RAMOS, A. Estimación de la vulnerabilidad sísmica de una edificación indispensable mediante confiabilidad estructural. [En línea] 2006. [Citado el: 20 de septiembre de 2017.] Disponible en <http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0376-723X2006000100004>

planeamiento territorial y la reducción de la vulnerabilidad de los elementos sometidos a riesgo: personas, viviendas, instalaciones críticas y entorno natural. Estos posibilitan la ubicación de las futuras construcciones en los sitios más seguros, el perfeccionamiento de los códigos de construcción y el reforzamiento más conveniente de las edificaciones existentes, para que puedan soportar mejor los efectos de futuros terremotos¹¹.

4.1.7 Vulnerabilidad Sísmica

La vulnerabilidad sísmica se define como el grado de pérdida de un elemento o grupo de elementos bajo riesgo, resultado de la probable ocurrencia de un evento sísmico desastroso. Es una propiedad intrínseca de la estructura, una característica de su comportamiento, que puede entenderse como la predisposición intrínseca de un elemento o grupo de elementos expuestos a ser afectado o ser susceptible a sufrir daño, ante la ocurrencia de un evento sísmico determinado¹².

Es preciso resaltar que no existen metodologías estándares para estimar la vulnerabilidad de las estructuras. El resultado de los estudios de vulnerabilidad es un índice de daño que caracteriza la degradación que sufriría una estructura de una tipología estructural dada, sometida a la acción de un sismo de determinadas características.

La vulnerabilidad es entonces una condición previa que se manifiesta durante el desastre, cuando no se ha invertido suficiente en prevención y mitigación, y se ha aceptado un nivel de riesgo demasiado elevado. De aquí

¹¹ . GONZÁLEZ, Bertha. Utilización de los mapas de microzonificación sísmica en el análisis de la vulnerabilidad y la evaluación del riesgo sísmico de áreas urbanas en Cubas. diciembre de 2006, Rev. Fac. Ing. UCV, Vol. 21.

¹² MELONE, Salvador. Vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña Escuela Técnica Superior de Ingenieros de, 2002.

se desprende que la tarea prioritaria para definir una política preventiva es reducir la vulnerabilidad, pues no es posible enfrentarse a las fuerzas naturales con el objeto de anularlas. Los tipos de vulnerabilidad sísmica, son¹³:

4.1.8 Efectos de un sismo

El efecto de los sismos sobre las estructuras depende de las características dinámicas tanto de la estructura como del movimiento. El problema es sumamente complejo, pues las características dinámicas del movimiento son variables tanto durante un mismo temblor, como de uno a otro temblor, dependiendo de la distancia epicentral, profundidad focal y magnitud del sismo, así como del tipo de terreno en que estén desplantadas las estructuras¹⁴.

Las características de interés del movimiento son la duración, la amplitud y la frecuencia, refiriéndose la amplitud a los máximos valores que se alcanzan durante el sismo, ya sea de desplazamiento, velocidad o aceleración del suelo y la frecuencia al número de ciclos de oscilación del movimiento por unidad de tiempo¹⁵.

En conclusión, los efectos de un sismo dependen de cada sistema estructural, las características de cada edificio y de cada sismo ya que son muchas variables las que actúan en el momento de producirse un sismo.

¹³ Ibíd.

¹⁴ AGUIAR, Roberto. *Análisis Sísmico de Edificios*. Primera Edición. Quito: Centro de Investigaciones Científicas, 2008.

¹⁵ Ibíd.

4.1.9 Modelación Estructural

Según Hibbeler el análisis del comportamiento mecánico de una estructura se lleva a cabo sobre modelos de ésta, entendiendo por modelo una idealización de algunos aspectos, probablemente parciales, de la realidad física y funcional de la estructura.

Los modelos se utilizan para predicción de esfuerzos, tensiones, movimientos y deformaciones y es por lo que han de recoger la utilidad funcional del sólido, sus formas geométricas y su comportamiento¹⁶.

La descripción completa de la realidad física de un sólido a efectos de su modelización y análisis implicaría la consideración de todos los detalles que definen su geometría, de los aspectos tanto microscópicos como macroscópicos de los materiales que lo constituyen, de los comportamientos funcionales tanto globales como de detalle, de las interrelaciones con su entorno a todos los niveles¹⁷.

4.1.10 Normas Colombianas de Diseño Sismo resistente

Según Salgado para la creación de las primeras normas sismo resistentes en el país fue necesario realizar el primer estudio general de amenaza sísmica de Colombia; En el año 1996, se contaba con una mejor información acerca de la tectónica de Colombia y con el registro de eventos sísmicos recientes, como resultado de la puesta en funcionamiento de la Red Sismológica Nacional a principios de los años 90. Dicho estudio sirvió de base para definir los parámetros para diseño sismo resistente para edificaciones, establecidos en las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente en 1998. Para la actualización de las normas de diseño y construcción sismo

¹⁶ HIBBELER, Russel. Análisis Estructural. Octava Edición. México: Pearson Educación, 2012.

¹⁷ Ibíd.

resistente, en el año 2010, se consideró conveniente actualizar el estudio de amenaza sísmica nacional, dada la disponibilidad de modelos y técnicas de cálculo más refinadas para la evaluación de la amenaza sísmica, así como la existencia de una mayor cantidad de registros de eventos sísmicos para realizar dicha evaluación. Los estudios de amenaza sísmica son de especial importancia para el desarrollo del país, debido a la necesidad de diseñar y construir las nuevas edificaciones e infraestructura, así como reforzar el ya existente acorde con el nivel de amenaza adecuado. Sólo de esta manera se puede controlar el nivel de vulnerabilidad de las construcciones colombianas, lo cual, ante el incontrolable aumento de la población y la exposición, se convierte en la única manera viable para controlar el riesgo y sus consecuencias en términos de impacto físico, económico, social y ambiental¹⁸.

¹⁸ SALGADO, Mario, y otros *Evaluación de la amenaza sísmica de Colombia. Actualización y uso en las nuevas normas colombianas de diseño sismo resistente NSR-10*. N. 32, 2010, Revista de Ingeniería.

4.2 MARCO CONCEPTUAL

Amenaza Sísmica: La Amenaza Sísmica es un término técnico mediante el cual se caracteriza numéricamente la probabilidad estadística de la ocurrencia (o excedencia) de cierta intensidad sísmica (o aceleración del suelo) en un determinado sitio, durante un período de tiempo¹⁹.

La Amenaza Sísmica puede calcularse a nivel regional y a nivel local, para lo cual se deben considerar los parámetros de fuentes sísmo génico, así como también los registros de eventos sísmicos ocurridos en cada zona fuente y la atenuación del movimiento del terreno²⁰.

Edificaciones de atención a la comunidad: Este grupo comprende aquellas edificaciones y sus accesos, que son indispensables después de un temblor para atender la emergencia y preservar la salud y seguridad de las personas, exceptuando las incluidas en el grupo IV. Este grupo debe incluir: Estaciones de bomberos, defensa civil, cuarteles de las fuerzas armadas y sedes de las oficinas de prevención y atención de desastres, garajes de vehículos de emergencia, estructuras y quipos de centros de atención de

¹⁹ SANTANDER REINEL, Nadia. Estimación de daños y pérdidas en bienes y personas ante la posibilidad de ocurrencia de un evento sísmico en el barrio alto Jordán de la ciudad de Santiago de Cali. [En línea] 2013. [Citado el: 10 de noviembre de 2017.] Disponible en <bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/7568/1/CB-0495143.pdf>

²⁰ SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. Geometría natural. [En línea] 2015. [Citado el: 25 de octubre de 2017.] Disponibles en <<https://www2.sgc.gov.co/paginas/default.aspx>>

emergencias, guarderías, escuelas, colegios, universidades y otros grupos de enseñanza.

Aquellas del grupo II para las que el propietario desee contar con seguridad adicional. Aquellas otras que al administración municipal, distrital, departamental o nacional designe como tales.²¹

Magnitud: Generalmente, el tamaño de los sismos se lo indica en términos de magnitud la cual está relacionada con la energía liberada en la fuente sísmica. Es un parámetro único que no depende de la distancia a la que se encuentre el observador a diferencia de la Intensidad. Existen diferentes escalas de magnitud entre las cuales las más conocidas son la Magnitud Local (MI) la cual se determina a partir del logaritmo de la amplitud de las ondas registradas en un sismógrafo y se conoce también como escala de Richter. Otro tipo son la de Ondas de Superficie, de Ondas de Cuerpo, la Magnitud de Energía y de Momento, magnitudes cuya determinación depende, como su nombre lo indica, del tipo de onda o del método usado para su análisis, así como también de la duración del sismo como es el caso de la Magnitud de Duración²².

Muros Estructurales: Son los que reciben y soportan las cargas de la estructura y la transmiten a la cimentación, mediante esfuerzos de compresión. También conocidos como muros portantes, son justamente paredes de edificaciones que poseen la función estructural, es

²¹MIN DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO AMBIENTAL. Reglamento colombiano para el régimen de construcciones sismo resistentes NSR-10. [En línea] 2010. [Citado el: 3 de noviembre de 2017.] Disponible en <<https://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/titulo-a-nsr-100.pdf>>

²² RED SISMOLOGÍA DE COLOMBIA. Conceptos básicos. [En línea] 2015. [Citado el: 20 de octubre de 2017.]Disponible en< <http://200.119.88.135/RSNC/index.php/material-educativo/conceptos-basicos.>>.

decir, que soportan cargas de otros elementos estructurales como lo son los arcos, bóvedas, vigas, viguetas y cubierta²³.

Pórticos: Es un sistema estructural compuesto por un pórtico espacial, resistente a momentos, esencialmente completo, sin diagonales, que resiste todas las cargas verticales y fuerzas horizontales. Este sistema conjuga elementos tipo viga y columna. Su estabilidad está determinada por la capacidad de soportar momentos en sus uniones.

Riesgo sísmico: Según el servicio geológico colombiano el riesgo sísmico comprende las posibles consecuencias representadas en daños en las construcciones, incendios, deslizamientos en zonas montañosas, inundaciones, licuación, afectación a personas, pérdidas económicas, que se pueden producir en un lugar específico para un tiempo de exposición determinado, en que coinciden la amenaza y vulnerabilidad sísmica²⁴.

Sismo: Corresponde al proceso de liberación de energía y generación como posterior propagación de ondas por el interior de la Tierra. Al llegar a la superficie de la Tierra, estas ondas son percibidas tanto por la población como por estructuras²⁵.

Sismo resistencia: Es una vibración o movimiento ondulatorio del suelo que se presenta por la súbita liberación de energía sísmica, que se acumula dentro de la tierra debido a fuertes tensiones o presiones que ocurren en su interior. La sismo-resistencia es un atributo que es destinado a una edificación de acuerdo a su configuración geométrica y a las técnicas de

²³ IZQUIERDO HERNANDO, César, ALFARO GIL, Antonio y PEÑAFIEL DE PEDRO, Carlos. Manual de riesgos tecnológicos y asistencias técnicas. Edificaciones. [En línea] 2015. [Citado el: 28 de septiembre de 2017.] Disponible en <<http://ceis.antiun.net/docus/pdfsonline/m3/m3-riesgostecnologicos-v12-01-edificacionesapeos/m3-riesgostecnologicos-v12-01-edificacionesapeos.pdf>>

²⁴ RED SISMOLOGÍA DE COLOMBIA Op. cit.

²⁵ Ibíd.

diseño que tiene empleadas para resistir las fuerzas de un movimiento sísmico²⁶.

Vulnerabilidad: Según la Corporación Autónoma Regional de Risaralda, la vulnerabilidad es la exposición, debilidad o incapacidad de resistencia frente a las amenazas que presenta una comunidad, persona o elemento que es considerado de valor para el hombre, también se refiere a la incapacidad para recuperarse de los efectos de un desastre, lo cual no sólo depende de la convivencia con la amenaza, sino de múltiples factores presentes en la localidad.²⁷

4.3 MARCO LEGAL

Al momento de realizar un proyecto de investigación basado en la gestión de riesgos de edificaciones se deben tener en cuenta todas las leyes que puedan poner limitantes al momento de realizar el análisis de cada una de las instituciones educativas, a continuación, se relaciona el marco normativo que influyen este tipo de investigación.

En la tabla 2. se compilo el marco normativo que incide en los análisis de este estudio.

Tabla 1. Marco normativo

NORMA	OBJETIVO	PERTINENCIA NORMA
NSR – 10 TITULO A Reglamento colombiano de construcción sismo resistente	Reducir la pérdida de vidas humanas y defender en lo posible el patrimonio del estado y los ciudadanos.	Especifica los requisitos generales de diseño y construcción sismo resistente.

²⁶ Ibíd.

²⁷ CARDER. Base ambiental con énfasis en riesgos municipio de Pereira. [En línea] 2000. [Citado el: 26 de septiembre de 2017.] Disponible en < www.carder.gov.co/intradocuments/webDownload/base-ambiental-de-riesgo-pereira->

NORMA	OBJETIVO	PERTINENCIA NORMA
Ley 1523 de 2012	Contribuir a la seguridad, el bienestar, la calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible.	Se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres.
Ley 388 de 1997 – POT	Dar a la planeación económica y social su dimensión territorial, racionalizar la intervención sobre su territorio y propiciar su desarrollo y aprovechamiento sostenible.	Comprende el conjunto de objetivos, directrices, políticas, estrategias, metas, programas, actuaciones y normas, destinadas a orientar y administrar el desarrollo físico del territorio y la utilización del suelo.
Decreto 33 de 1998	Se establecen los requisitos de carácter técnico y científico para construcciones sismo resistente de la NSR – 98.	Una edificación diseñada siguiendo los requisitos de este Reglamento, debe ser capaz de resistir, además de las fuerzas que le impone su uso, temblores de poca intensidad sin daño, temblores moderados sin daño estructural.
Ley 400 de 1997	Se adoptan normas sobre las construcciones que deben ser sismo resistente.	Establece criterios y requisitos mínimos para el diseño, construcción y supervisión técnica de edificaciones nuevas, así como de aquellas indispensables para la recuperación de la comunidad con posterioridad a la ocurrencia de un sismo.
Decreto Legislativo 919 de 1989	Se organiza el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres y se dictan otras disposiciones.	El Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres está constituido por el conjunto de entidades públicas y privadas que realizan planes, programas, proyectos y acciones específicas para alcanzar algunos objetivos específicos.

Fuente: los autores

4.4 MARCO DE ANTECEDENTES

El estudio análisis de daños estructurales causados por sismos en escuelas públicas de república dominicana, realizado por Moreno Carmen, tuvo por objetivo analizar las lesiones en elementos estructurales tomando como muestra algunas de las escuelas públicas agrietadas o colapsadas después de un sismo, en la República Dominicana.

Los aspectos analizados por Moreno se realizaron en entidades seleccionadas al azar que mostraban fallas como consecuencia de lesiones a causa por movimientos sísmicos, realizado mediante el modelo representado en el software CYPE, lo que permitió identificar sobre el modelo de las nuevas escuelas, hasta qué grado las estructuras cumplían con los reglamentos para construcciones sismo resistentes y sobre esta base se propuso una mejora en el sistema estructural tanto para las escuelas existentes como para las nuevas construcciones, que fue un angular reemplazable que cuando pierda plasticidad pueda ser cambiada por una pieza nueva que preste las mismas respuestas para las solicitaciones. El resultado más destacado fue que la rotura por cortante se produce por unas fuerzas horizontales que no son bien soportadas por la estructura, y esta falla. La tensión a la que son sometidos los elementos que trabajan a

tracción proporcionando a estos un esfuerzo mayor para el que no fue diseñado, hace que la estructura lesione provocando el agrietamiento del elemento²⁸.

López Oscar A. y Espinoza Luis F. en su estudio derrumbe del liceo Raimundo Martínez Centeno, durante el terremoto de Cariaco de 1997, que tenía por objetivo Identificar los mecanismos de colapso que ocasionaron el derrumbe del LRMC mediante técnicas de análisis dinámico no-lineal, que incorporara la variación en el tiempo de las propiedades de la estructura. En este trabajo se utilizaron técnicas de análisis dinámico no-lineal, basado en la concentración de daños en secciones críticas de la estructura, a fin de identificar las causas del derrumbe, el derrumbe de ambos edificios del Liceo se atribuyó a la limitada capacidad para resistir carga lateral y para disipar energía, aunado a la presencia de columnas cortas que precipitaron los modos de falla frágil de la estructura, que son características de las edificaciones construidas con las normas antiguas de diseño sismo resistente²⁹.

Como resultado se definieron los valores definidos como derivas de cedencia y derivas últimas de entrepiso a partir de un análisis estático no-lineal demostrado ser buenos estimadores del umbral del daño y del umbral del colapso durante la respuesta dinámica no-lineal, respectivamente³⁰.

En otro estudio dirigido a evaluar la vulnerabilidad de las edificaciones está el de Ricardo León Bonett, vulnerabilidad y riesgo sísmico de edificios.

²⁸ MORENO GONZÁLEZ, Carmen. Análisis de daños estructurales causados por sismos en escuelas públicas de Republica Dominicana: Reparación y propuesta de mejora de elementos estructurales de hormigón armado antes y después de un sismo. [En línea] 2014. [Citado el: 20 de septiembre de 2017.] Disponible en <<http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/24633/20141210%20TFM%20Carmen%20Moreno.pdf?sequence=1>>

²⁹ . LÓPEZ, Oscar y ESPINOZA, Luis. Derrumbe del liceo RMC durante el terremoto de Cariaco de 1.997. 2007. 2, julio de 2007, IMME, Vol. 45.

³⁰ Ibíd. p.6

aplicación a entornos urbanos en zonas de amenaza alta y moderada, que tenía como objetivo desarrollar e implementar una metodología para la evaluación del desempeño, la vulnerabilidad y el riesgo sísmico de edificios, y una aplicación a dos tipologías estructurales típicas de los edificios existentes en los entornos urbanos, siendo: los edificios a porticados de hormigón armado, ampliamente utilizados en zonas de sismicidad moderada y alta y los edificios de mampostería no reforzada, que constituyen la gran mayoría de las estructuras antiguas existentes en zonas urbanas³¹.

En su contenido se logró describir como las nuevas tendencias en la Ingeniería Sísmica, reconocen la necesidad de evaluar la vulnerabilidad de los edificios en entornos urbanos. Por ser en estos donde se concentra la mayor parte de la población mundial, las infraestructuras y los servicios, siendo imperante conocer el comportamiento de los edificios ante la ocurrencia de sismos intensos, hecho responsable de evitar verdaderas catástrofes sísmicas y mitigar las consecuencias en vidas y daños materiales que representan pérdidas económicas, logrando como resultado en este estudio se destacó que el desempeño sísmico de un edificio, estructura o infraestructura ante diferentes niveles del movimiento sísmico, debe cumplir con los objetivos básicos del diseño.³².

En la misma línea de investigaciones Roca, J. Irizarry, N., Barbat, X. Goula, L. Pujades y T. Susana en su investigación método avanzado para la evaluación de la vulnerabilidad y el riesgo sísmico, a través de un método avanzado para la evaluación de escenarios de riesgo sísmico, que consistía en definir y aplicar metodologías para la evaluación de la peligrosidad, la

³¹ BONETT DÍAZ, Ricardo. Vulnerabilidad y riesgo de edificios. Aplicación a entornos urbanos en zonas de amenaza alta y moderada. [En línea] 2003. [Citado el: 21 de octubre de 2017.] Disponible en

<<http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6230/01CAPITULO0.pdf?sequence=1>>

³² Ibíd. p.409

vulnerabilidad y el riesgo sísmico en 7 ciudades europeas. La evaluación de la peligrosidad se realizó usando métodos deterministas y probabilistas en términos de intensidades y valores espectrales de aceleración; uno de los análisis fue La vulnerabilidad del parque de edificios de Barcelona se evalúa usando el método del índice de vulnerabilidad y el del espectro de capacidad para así generar varios escenarios de riesgo sísmico para la ciudad, como resultado se indicó que la evaluación determinista de la peligrosidad sísmica en términos de intensidad macro sísmica da lugares a valores parecidos a los obtenidos por estudios anteriores³³.

El estudio evaluación del riesgo sísmico en zonas urbanas realizado por Mena Hernández Ulises ,aborda el tema de como las grandes ciudades modernas situadas en áreas de peligrosidad sísmica moderada o baja tienden a minusvalorar el peligro sísmico y a descuidar precauciones básicas de protección frente a los terremotos, en este sentido se hizo referencia al avance realizado en estudios de riesgo sísmico específicamente en la ciudad de Barcelona, que ha permitido mejorar la metodología propuesta para la evaluación de la calidad estructural de los edificios y evaluar los posibles escenarios de daño como consecuencia de un terremoto. Sin embargo, se enfatizó en que la falta de un sistema integrador entre la metodología planteada y la aplicación a la ciudad, unido a la falta de información de los elementos en riesgo ha limitado los estudios³⁴.

³³ CARDONA, Cristian, MEDINA LÓPEZ, Gionany y SERNA RESTREPO, David. Evaluación de la vulnerabilidad estructural de las edificaciones indispensables del sector educación del grupo III en el municipio de Dosquebradas, Risaralda. [En línea] 2016. [Citado el: 18 de septiembre de 2017.] Disponible en <<http://repositorio.unilibrepereira.edu.co:8080/pereira/bitstream/handle/123456789/678/EVALUACI%C3%93N%20DE%20LA%20VULNERABILIDAD%20%20ESTRUCTURAL.pdf?sequence=1>>

³⁴ MENA HERNÁNDEZ, Ulises. Evaluación del riesgo sísmico. en zonas Urbanas. [En línea] 2002. [Citado el: 15 de octubre de 2017.] Disponible en <<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/93534/01INDICE.pdf>>

La situación anterior conlleva un aumento de su vulnerabilidad y, en consecuencia, suelen presentar un elevado riesgo sísmico que, a su vez, aumenta con el tiempo, la caracterización de las edificaciones se realizó mediante el diseñado de una herramienta informática sobre plataforma estación de trabajo SUN y sistema de información geográfica ARCINFO que permite la incorporación y gestión de la información necesaria para la generación de escenarios de daño³⁵.

Ugarte Alexander en metodología de modelación de escenarios de riesgo sísmico en Managua, Nicaragua, fue ejecutada por el proyecto reducción del riesgo sísmico en Centroamérica en su fase II, bajo el auspicio del Centro de Prevención de Desastres en América Central, del cual la Universidad Nacional de Ingeniería. Dicha investigación presento los análisis y resultados de la actualización de la amenaza sísmica, zonificación tectónica y aceleraciones espectrales esperadas de Centroamérica y en particular de Managua, Nicaragua. A partir de una muestra de viviendas típicas se establece una clasificación o tipología por cada sistema constructivo a los cuales se les aplico el Método de Análisis Estático No Lineal de Estructuras generándose un análisis de la capacidad de la estructura acorde con una demanda y por ende el punto de desempeño, el cual representa el Máximo Desplazamiento Estructural esperado para un sismo dado y así reflejar el grado de vulnerabilidad, entregando como resultado la elaboración de un catálogo sísmico regional, actualizado hasta 2007 y homogeneizado a Magnitud, Mw. Definición de dos zonificaciones sismo genéticas, regional y nacional, con zonas en tres grupos: corticales, subducción interface y subducción intraplaca³⁶.

³⁵ Ibíd. p. 10

³⁶ GARTE, Alexander. Metodología de modelación de escenarios de riesgo sísmico en Managua, Nicaragua. [En línea] 2010. [Citado el: 20 de octubre de 2017.]Disponible en < <https://www.lamjol.info/index.php/NEXO/article/download/34/3>. Vulnerabilidad sísmica de centros poblados. Un caso de estudio: sector Pan de Azúcar,>

A nivel regional se encontraron referentes importante que permitieron una mejor comprensión del tema de estudio, como fue el de Peláez Ortiz Andrea Marcela: análisis de la vulnerabilidad del sistema territorial para el municipio de armenia, Quindío, que tuvo por objetivo evaluar la vulnerabilidad presente en la capital del departamento del Quindío, ante la presencia de una amenaza natural, a través de un análisis del sistema territorial, que basado en el documento Retrospectiva de las catástrofes naturales en Colombia como insumo para la construcción de un sistema soporte de decisiones; dirigido por el Ing. Mauricio González, se desarrolló en tres diferentes municipios, con la identificación de los riesgos en la presencia de desastres naturales³⁷.

Henry Peralta y otros en su estudio la evaluación de la vulnerabilidad física por terremoto y sus fenómenos asociados en poblaciones del litoral de Nariño, tenía por objetivo Identificar la vulnerabilidad relacionada con el fenómeno más probable y severo que pueda afectar las viviendas, sistemas urbanos y edificaciones esenciales, como una componente indispensable en el planteamiento de acciones de mitigación factibles en el corto, mediano y largo plazo. El alcance del estudio permitió como resultado se obtuvo que la mayoría de las poblaciones presentaban una exposición alta y generalizada a los tres fenómenos y que las instituciones y la comunidad tenían un bajo nivel de preparación para enfrentar los desastres.³⁸.

La investigación Estimación de la vulnerabilidad sísmica de una edificación indispensable mediante confiabilidad estructural realizado por Edgar E. et al.

³⁷ PELÁEZ ORTIZ, Andrea. Análisis de la vulnerabilidad del sistema territorial para el municipio de Armenia, Quindío. [En línea] 2014. [Citado el: 21 de octubre de 2017.] Disponible en <
<http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/1792/1/An%C3%A1lisis-vulnerabilidad-sistemateritorial-Armenia.pdf>>

³⁸ PERALTA, Henry, y otros. Evaluación de la vulnerabilidad física por terremoto y sus fenómenos asociados en poblaciones del litoral de Nariño. [En línea] 2003. [Citado el: 25 de septiembre de 2017.] Disponible en <
http://www.osso.org.co/docu/congresos/2003/congreso_Ing_sismica.pdf>

se basó en la recopilación de información de estudios de patología, levantamiento estructural y la evaluación de amenaza sísmica local, para evaluar la capacidad a cortante de la estructura a través de un análisis estático no lineal de pushover de tres modelos estructurales del edificio, variando su rigidez en función de cien datos del módulo de elasticidad y las resistencias a la compresión del concreto, el primer modelo es el original sin refuerzo, el segundo es rehabilitado con diagonales concéntricas de acero y el tercero consiste en un muro en concreto reforzado³⁹.

Llanos Lina y Vidal Lina en la investigación Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de escuelas públicas de Cali: una propuesta metodológica, evaluaron el grado de vulnerabilidad sísmica de una muestra representativa de escuelas públicas de la ciudad de Cali, la importancia de este se debió a las inadecuadas condiciones que estos establecimientos presentaban, a su importancia dentro de la comunidad y a los antecedentes de daños por sismo en este tipo de edificaciones, estableciendo los aspectos que influían en su estado y, por lo tanto, en su vulnerabilidad sísmica, lo que permitió entregar una herramienta para el desarrollo de planes de prevención y mitigación de riesgos en las escuelas⁴⁰.

El resultado de este estudio fue la evaluación de la vulnerabilidad sísmica a gran escala, adecuada a las características particulares de las escuelas analizadas, identificando diferentes problemáticas por un lado, la existencia de varias edificaciones en un mismo establecimiento, con

³⁹ MUÑOZ, Edgar, RUIZ, Daniel y RAMOS, A. Estimación de la vulnerabilidad sísmica de una edificación indispensable mediante confiabilidad estructural. [En línea] 2006. [Citado el: 20 de septiembre de 2017.] Disponible en <http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0376-723X2006000100004>

⁴⁰ LLANOS LÓPEZ, Lina y VIDAL GÓMEZ, Lina. Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de escuelas públicas de Cali: una propuesta metodológica. [En línea] 2003. [Citado el: 25 de octubre de 2017.] Disponible en <http://www.osso.org.co/docu/tesis/2003/eva_escuelas/informe_final.pdf>

tipologías estructurales, aspectos constructivos y edades distintas, planteando la necesidad de formular evaluaciones distintas para cada tipología y por el otro, obtener un estimativo total de la vulnerabilidad de la escuela.⁴¹

Maldonado Esperanza, Chío Gustavo y Gómez Iván, analizaron el índice de vulnerabilidad sísmica en edificaciones de mampostería en Santander basado en la opinión de expertos, el análisis presento un modelo rápido y sencillo de evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones de mampostería a escala regional. El modelo fue construido para ser aplicado especialmente a zonas donde no se cuenta con información de daños sísmicos reales. El método se basa en la identificación de las características más relevantes e influyentes en el daño que sufriría una edificación de mampostería bajo la acción de un sismo. La valoración de estas características se realizó mediante la determinación de once parámetros, a los cuales se les asignó un grado de vulnerabilidad y un valor de importancia relativa con base en la opinión de expertos⁴².

El modelo propuesto mostró su sencillez y viabilidad en su aplicación, por lo cual es ideal su uso en estudios a gran escala. La metodología propuesta se fundamentó en la evaluación de los parámetros que más influyen en la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones, que corresponden al sistema estructural, a la calidad del sistema resistente, a la posición de la cimentación, al tipo de suelo y pendiente del terreno, al tipo de diafragma horizontal, a la configuración en planta y elevación, a la distancia máxima entre los muros, al tipo de cubierta y al estado de conservación de la edificación. En la construcción del modelo se contó con opiniones de

⁴¹ Ibíd. p.167

⁴² MALDONADO RONDON, Esperanza, GÓMEZ ARAÚJO, Ivan y CHIO CHO, Gustavo. Aplicación de los conjuntos difusos en la evaluación de los parámetros de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones de mampostería. [En línea] 2007. [Citado el: 26 de octubre de 2017.] Disponible en <<http://www.scielo.org.co/pdf/inde/n22/n22a02.pdf>>

expertos nacionales e internacionales de México, Chile, Perú, Venezuela y Puerto Rico, los cuales consideraron que los parámetros más relevantes corresponden al sistema estructural y la calidad del sistema resistente⁴³.

⁴³ Ibíd. p.9

5. DISEÑO METODOLÓGICO

5.1 LUGAR DE INVESTIGACIÓN

El municipio de Santa Rosa de Cabal cuenta con 84 Instituciones Educativas, de las cuales 33 son rurales, para este proyecto se tuvieron en cuenta 5 Instituciones Educativas. La siguiente tabla contiene la información general de ellas.

Tabla 2. Caracterización de las instituciones educativas intervenidas

NOMBRE	LOCALIZACIÓN	AÑO	No. DE ESTUDIANTES	NIVEL EDUCATIVO	SISTEMA ESTR. PREDOMINANTE
Lorencita Villegas de Santos	Cra. 10 #14-31. Esquina. Barrio El Carmelo	1973	1100	Bachillerato	Pórticos en concreto
Simón Bolívar	Carrera 14 #8-45	1848	250	Preescolar y Primaria	Muros estructurales
La Milagrosa Urbana	Calle 8 con carrera 10. Esquina.		170	Preescolar y Primaria	Muros estructurales
San Vicente de Paul	Calle 12 #12-68.		300	Preescolar y Primaria	Muros estructurales
Antonia Santos – Juan XXIII	Carrera 11 #16-475	1960	500	Preescolar y Primaria	Muros estructurales

Fuente: Los autores

5.2 ENFOQUE INVESTIGATIVO

El enfoque investigativo que se aplicó en el presente proyecto es la investigación cualitativa debido a los métodos, la forma de recolección de datos y técnicas usadas a lo largo de la investigación.

El método cualitativo sirvió para realizar los análisis estructurales de las edificaciones, ya que se evaluaron las condiciones de seguridad en las que se encuentran las estructuras, y con el método cualitativo se realizó una evaluación a la estructura, basándose en parámetros tales como edad de la edificación, materiales de construcción, topografía, configuración estructural, resistencia al cortante determinando todos los elementos verticales ubicados en cada piso de la edificación, se recolectaron y clasificaron las condiciones geológicas y amenazas sísmicas de la zona donde se encuentran ubicadas las instituciones educativas estudiadas.

Cuando se realizó la evaluación estructural de las instituciones educativas por medio del programa ETABS se hizo el reconocimiento estructural de cuáles son los elementos más vulnerables y las posibles soluciones para eliminar las fallas encontradas.

5.3 TIPO DE ESTUDIO

El tipo de estudio que se utilizó fue de carácter descriptivo, de modo que se recogió la información necesaria sin manipular el entorno, teniendo en cuenta que no se habla de un estudio experimental. Como es un estudio descriptivo, el investigador se relaciona con el entorno donde se hace necesario realizar encuestas y recolectar información con formatos mencionados anteriormente.

5.4 MATRIZ DE DISEÑO METODOLÓGICO

Tabla 3. Matriz diseño metodológico

OBJETIVO ESPECÍFICO	ACTIVIDADES	TÉCNICA	INSTRUMENTO	PRODUCTO ESPERADO
Realizar una inspección visual de las instituciones educativas para determinar las condiciones en las que se encuentran actualmente.	Visitas de campo y diligenciamiento del formato de vulnerabilidad estructural.	Evaluación de campo de cada elemento relacionado con la vulnerabilidad física y funcional.	Formato de captura de datos para la evaluación estructural	Base de datos de los diferentes elementos que hacen parte de la vulnerabilidad física y funcional.
Diagnosticar la vulnerabilidad física y funcional de las instituciones educativas seleccionadas en el municipio de Santa Rosa de Cabal, con base en la norma de sismo resistencia colombiana.	Recolectar toda la información necesaria a los objetos de estudio en la Secretaría de Infraestructura y en la Secretaría de Educación.	Comparación de los resultados de la inspección visual con la norma NSR-10	Formato de captura de datos, norma NSR-10	Resultados de diagnósticos de las diferentes instituciones educativas.
Modelar en el software especializado los índices de sobre-esfuerzo y la deriva, de las instituciones educativas según los estándares de la NSR-10	Elaborar los planos requeridos de cada Institución. Ingresar los datos al software.	Análisis y del estado de los elementos estructurales de cada una de las instituciones basados en la norma NSR-10	ETABS 9.7.4	Modelación de las instituciones educativas con su reporte señalando los elementos estructurales que afectan la vulnerabilidad.
Proponer posibles métodos que ayuden a mejorar la infraestructura para hacerla más funcional a futuro.	Basado en los resultados de la modelación en ETABS, buscar los materiales óptimos para rehabilitación.	Mencionar mejoras y posibles métodos de rehabilitación de las estructuras y materiales	Catálogo de proveedores afines.	Propuesta para el mejoramiento de las edificaciones.

Fuente: Los autores

5.5 FASES DE LA INVESTIGACIÓN

5.5.1 Evaluación de la vulnerabilidad estructural

La evaluación de la vulnerabilidad física y funcional de las 5 instituciones educativas ubicadas en el sector urbano del municipio de Santa Rosa de Cabal se basó en la norma de sismo resistencia colombiana NSR-10. Para la realización de lo mencionado anteriormente se hizo uso de un formato para la captura de datos, el cual contiene los criterios básicos que pueden ayudar a recolectar la información más importante que será utilizada para la investigación. A continuación, se muestra el formato para la recolección de los datos de cada estructura:



Formato de captura de datos para evaluación estructural			
Nombre del evaluador:		<input type="checkbox"/> Ingeniero o arquitecto <input type="checkbox"/> Estudiante Ing/Arq. <input type="checkbox"/> Otro	
Fecha:		Coordenadas: (_____ N, _____ O, _____ msnm)	
INFORMACIÓN GENERAL			
Nombre del inmueble:		Código postal:	
Calle y número:		Delegación/Municipio:	
Pueblo o ciudad:		Estado:	
Referencias: (entre calles "A" y "B", un sitio notable, etc.)			
Persona contactada/propietario:		Teléfono: (_____)	
Tipo: <input type="checkbox"/> Vivienda <input type="checkbox"/> Hospital <input type="checkbox"/> No. niveles, n = _____ <input type="checkbox"/> Oficinas <input type="checkbox"/> Iglesia <input type="checkbox"/> No. sótanos: _____ <input type="checkbox"/> Comercio <input type="checkbox"/> Reunión (cine/estadio/balón) <input type="checkbox"/> No. ocupantes: _____ <input type="checkbox"/> Escuela <input type="checkbox"/> Industrial (fábrica/bodega) <input type="checkbox"/> Dimensiones: _____ <input type="checkbox"/> Otro: _____ <input type="checkbox"/> Muros de madera, lámina, otros <input type="checkbox"/> Frente: X = _____ m <input type="checkbox"/> Fondo: Y = _____ m	Planicie: <input type="checkbox"/> Ladera de cerro: <input type="checkbox"/> Riera/montaña: <input type="checkbox"/> Fondo de valle: <input type="checkbox"/> Depósitos lacustres: <input type="checkbox"/> Costa: <input type="checkbox"/>		
SISTEMA ESTRUCTURAL			
La dirección X es paralela a la fachada, indicar X, Y en el croquis			
Dirección: <input type="checkbox"/> Marcos de acero <input type="checkbox"/> Muros de concreto <input type="checkbox"/> Marcos de acero <input type="checkbox"/> Muros de concreto <input type="checkbox"/> Zapatas aisladas <input type="checkbox"/> Cimentación <input type="checkbox"/> Marcos de concreto <input type="checkbox"/> Muros de carga de mampostería <input type="checkbox"/> Marcos de concreto <input type="checkbox"/> Muros de carga de mampostería <input type="checkbox"/> Zapatas corridas <input type="checkbox"/> Cajas / pilas <input type="checkbox"/> Columnas y losa plana <input type="checkbox"/> Marcos y muros diafragma <input type="checkbox"/> Columnas y losa plana <input type="checkbox"/> Marcos y muros diafragma <input type="checkbox"/> Cimiento de piedra <input type="checkbox"/> No se sabe <input type="checkbox"/> (sin vigas) <input type="checkbox"/> Muros de adobe o bahareque <input type="checkbox"/> (sin vigas) <input type="checkbox"/> Muros de adobe o bahareque <input type="checkbox"/> Losa de cimentación <input type="checkbox"/> Uso de contravientos <input type="checkbox"/> Muros de madera, lámina, otros <input type="checkbox"/> Uso de contravientos <input type="checkbox"/> Muros de madera, lámina, otros	Muros de mampostería: <input type="checkbox"/> Confinada <input type="checkbox"/> Bloque concreto 30x40 cm <input type="checkbox"/> Tabique hueco de arcilla <input type="checkbox"/> Tablón de concreto <input type="checkbox"/> Simple <input type="checkbox"/> Tabique hueco de arcilla <input type="checkbox"/> Tablón de concreto		
Sistema de piso: <input type="checkbox"/> Losa maciza <input type="checkbox"/> Losa reticular <input type="checkbox"/> Vigueta y bovedilla <input type="checkbox"/> No se sabe			
Sistema de techo: <input type="checkbox"/> Igual al de piso <input type="checkbox"/> Lámina <input type="checkbox"/> Teja <input type="checkbox"/> Otro: _____			
VULNERABILIDAD Regular: <input type="checkbox"/> Asimetría por muros, cubos, cargas <input type="checkbox"/> Plantas bajas de doble altura <input type="checkbox"/> Posición en manzana: <input type="checkbox"/> Esquina <input type="checkbox"/> Medio <input type="checkbox"/> Aislado <input type="checkbox"/> Grandes aberturas, entrantes/salientes <input type="checkbox"/> Muros no llegan a cimentación <input type="checkbox"/> Grandes masas en pisos superiores <input type="checkbox"/> Reducción brusca de pisos superiores <input type="checkbox"/> Geometría irregular en planta "L", "T", "H" <input type="checkbox"/> Columna corta <input type="checkbox"/> Columna corta <input type="checkbox"/> Separación edif. vecino: _____ cm			
EVALUACIÓN DE DAÑOS			
Geotécnico: <input type="checkbox"/> Grietas en el terreno <input type="checkbox"/> Hundimientos <input type="checkbox"/> Inclinación del edificio: _____ % Locales: <input type="checkbox"/> Colapso <input type="checkbox"/> Grietas máx. _____ mm <input type="checkbox"/> Flecha máx. _____ cm Conexiones: <input type="checkbox"/> Falla	Columnas: <input type="checkbox"/> Concreto <input type="checkbox"/> Mampost. Tablones: <input type="checkbox"/> Concreto <input type="checkbox"/> Mampost. Ancho máximo de grietas (mm): _____ Separación de edificio (cm): _____ Separación de reparar de muro (cm): _____		
Entrepiso ortillo (más débil y/o más dañado): No. de columnas (o muros) daño severo = _____ (colapso, aplastamiento, pandeo, grietas > 3 mm) Total de columnas (muros) en el entrepiso = _____			
NIVEL DE DAÑO DE LA ESTRUCTURA <input type="checkbox"/> Colapso total <input type="checkbox"/> Daño severo <input type="checkbox"/> Daño medio <input type="checkbox"/> Daño ligero			
Otros daños: <input type="checkbox"/> Vidrios <input type="checkbox"/> Acabados <input type="checkbox"/> Plafones <input type="checkbox"/> Fachadas <input type="checkbox"/> Bandas y pretiles <input type="checkbox"/> Cubos (escalera/elevador) <input type="checkbox"/> Instalaciones			
CROQUIS DEL INMUEBLE			
Existen planos: <input type="checkbox"/> Arquitectónico <input type="checkbox"/> Estructural <input type="checkbox"/> Ninguno (Marcar el Norte) 			
			

Figura 1. Formato de captura de datos para evaluación estructural

Fuente: Manual de formato de captura de datos para evaluación estructural.

5.5.2 Información estructural y arquitectónica

En lo que se refiere a la información estructural y arquitectónica se debe mencionar que sólo una de las 5 instituciones educativas estudiadas contaba con sus respectivos planos, por este motivo se tuvo que realizar el levantamiento de la información requerida de los colegios restantes para su respectivo estudio.

5.5.3 Modelación estructural

Se realizará una modelación estructural, separando las instituciones educativas de un solo piso y las que cuentan con dos o más pisos, y estas sub divididas en su sistema estructural, pórticos o muros estructurales según corresponda.

Para las estructuras que solo cuentan con un piso se tendrá que hacer un chequeo, el cual compara los elementos que componen el bloque con los requisitos mínimos que exige la norma NSR-10 título E (muros estructurales) y título C (Pórticos).

En los bloques que cuenten con dos o más pisos se tendrá que utilizar el programa ETABS, y comparar los índices de sobre esfuerzo y deriva con las exigencias de la NSR-10.

5.5.4 Resultados de la investigación

Después de realizar una reunión con la planeación del municipio de Santa Rosa de Cabal y solicitar los planos de cada institución educativa estudiada se notifica que allí no se tienen planos de ninguna de las edificaciones solicitadas, por ende se visita cada institución y se hace una solicitud de los planos, si éstas tampoco cuentan con dichos documentos se procede a realizar el levantamiento geométrico de cada uno de los módulos de las instituciones⁴⁴.

En el momento de la visita de campo se ejecuta el formato de captura de datos para la evaluación físico-estructural y obtener una valoración cualitativa según la norma NSR-10.

Basados en el software ETABS se realiza la modelación estructural teniendo como referencia los planos mencionados anteriormente y con los informes entregados por el programa se determinan los elementos estructurales vulnerables que se encuentran en la edificación y de ésta manera proponer un refuerzo que se ajuste a la necesidad.

⁴⁴ MÓDULO: Sistema estructural que trabaja independiente

6. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

6.1 EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL DE LAS INSTITUCIONES EDUCATIVAS DE SANTA ROSA DE CABAL

Los siguientes resultados se obtuvieron gracias a las visitas realizadas en campo y al formato de captura de datos para la evaluación estructural.

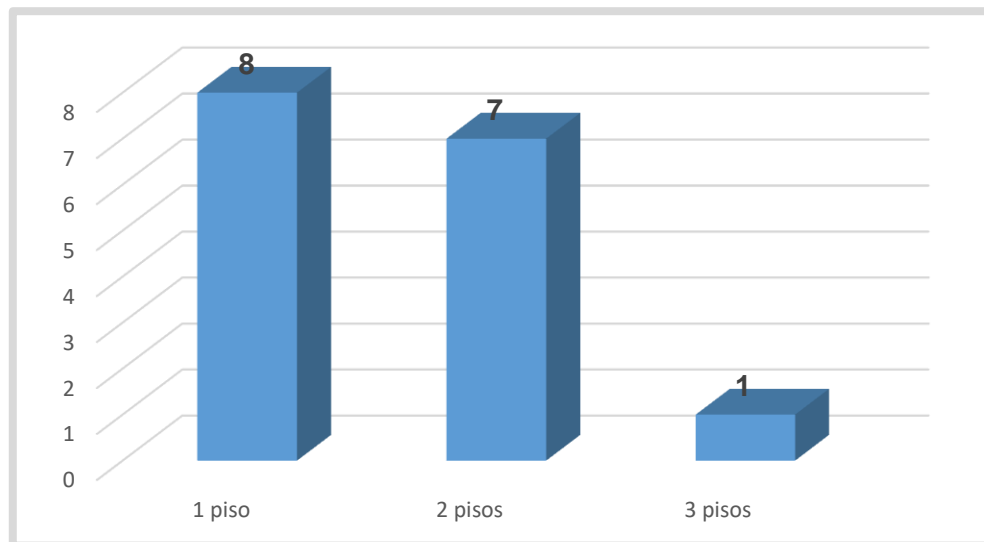
INSTITUCIÓN EDUCATIVA	No. DE BLOQUES	NÚMERO DE PISOS			SISTEMA ESTR. PREDOM.		NIVEL DE DAÑO		
		UNO	DOS	TRES	PÓRTICOS	MUROS EST.	LIGERO	MEDIO	SEVERO
Lorencita Villegas de Santos	2	0	1	1	2	0	2	0	0
Esc. Simón Bolívar	3	2	1	0	1	2	1	2	0
Esc. La Milagrosa Urbana	3	3	0	0	1	2	3	0	0
Esc. San Vicente de Paul	3	0	3	0	1	2	3	0	0
Esc. Antonia Santos - Juan XXIII	5	3	2	0	2	3	0	0	5
TOTAL	16	8	7	1	7	9	9	2	5

Tabla 4. Caracterización de las instituciones educativas analizadas

Fuente: Los autores

Los siguientes resultados son en base a la tabla mostrada anteriormente:

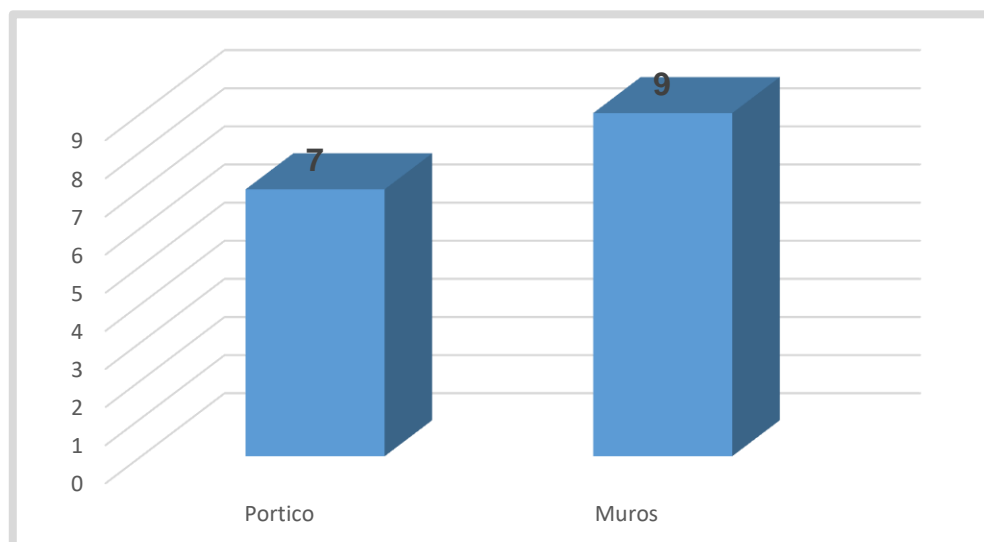
Gráfica 1. Número de pisos Instituciones Educativas



Fuente: Los autores

En el gráfico 1 (número de pisos), se puede observar que un 50% (8) de los bloques cuentan con 1 piso, el 44% (7) tienen 2 pisos y un 6% (1) posee 3 pisos, la importancia de estos resultados se refleja en el comportamiento de las estructuras ante un sismo, ya que el bloque que cuenta con 3 pisos tiene vulnerabilidad.

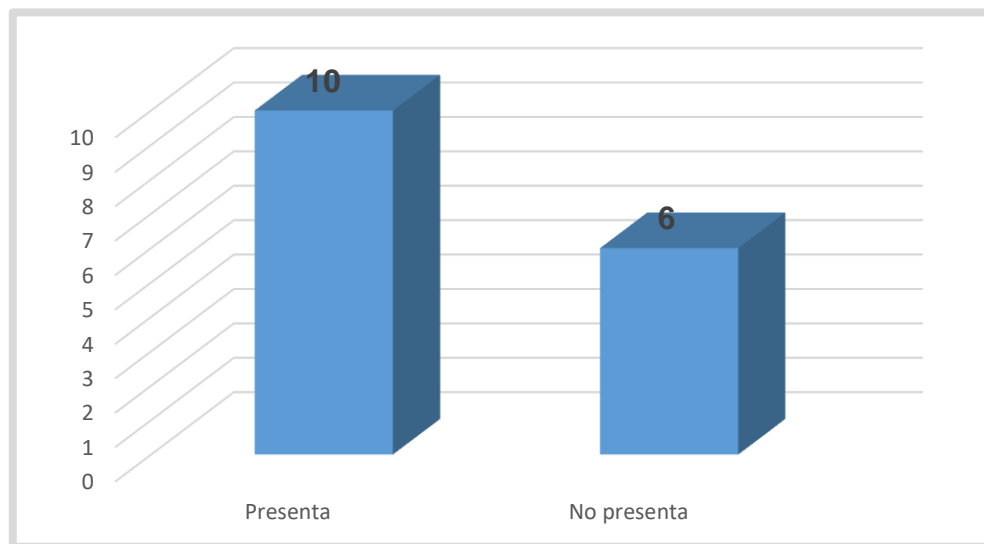
Gráfica 2. Sistema estructural



Fuente: Los autores

Observando el gráfico 2. (sistema estructural) se evidencia que un 56% (9) de los bloques tienen un sistema estructural de muros y un 44%(7) es un sistema de pórtico, estos datos son relevantes debido a que cada uno de esos sistemas tienen un comportamiento diferente ante un sismo.

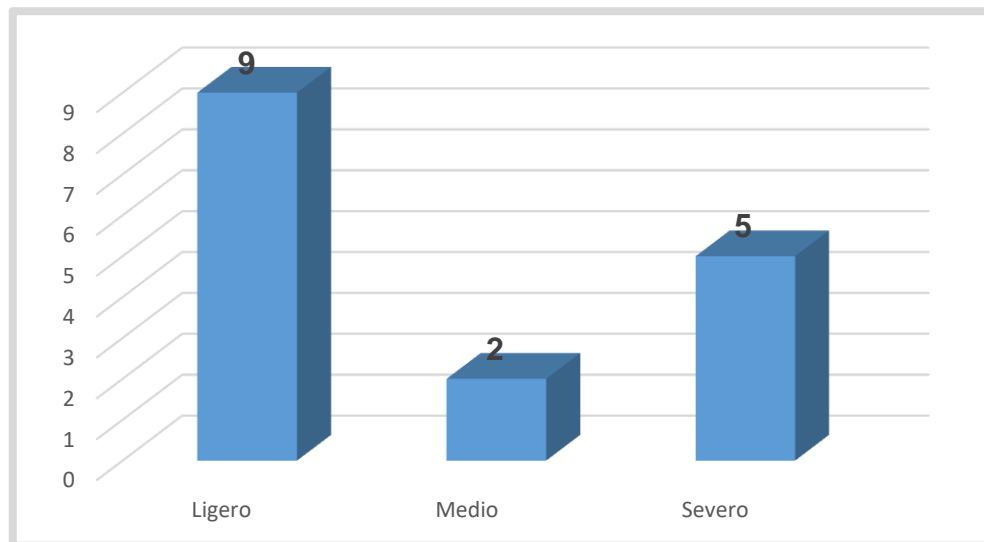
Gráfica 3. Vulnerabilidad



Fuente: Los autores

El gráfico 3. (vulnerabilidad) muestra el porcentaje de bloques que presentan algún tipo de vulnerabilidad, como se puede evidenciar el 62%(10) de los bloques presenta algún tipo de falla, mientras que el 38% (6) no presenta fallas que puedan poner en peligro la institución educativa.

Gráfica 4. Nivel de daño



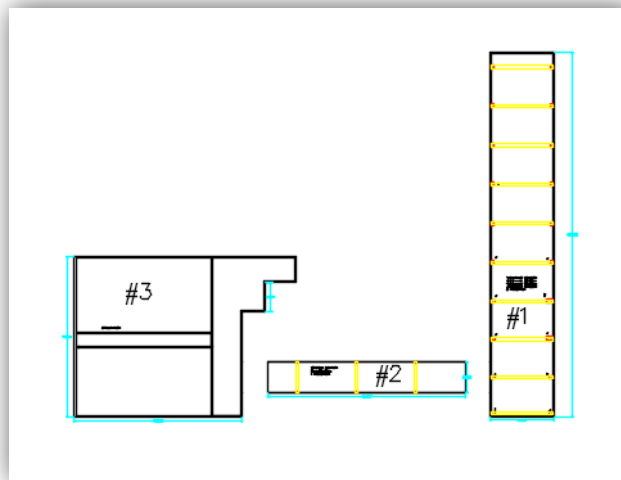
Fuente: Los autores

En el gráfico 4 (Nivel de daño) se muestra que un 56%(9) presenta daños ligeros, que no son de gravedad, lo que quiere decir que el bloque está relativamente en buen estado. Un 13%(2) de los bloques tiene un daño medio, indica que se están presentando fallas en algunos elementos estructurales de importancia para la institución. Y el 31%(5) de los bloques muestra un daño severo, lo que significa que los 5 bloques estudiados presentan un gran peligro para las personas que lo frecuentan, ya que tienen grandes daños en los elementos que lo componen.

6.2 INFORMACIÓN ESTRUCTURAL Y ARQUITECTÓNICA

A continuación, se muestran los planos de la Institución Educativa Lorencita Villegas de Santos y la Escuela San Vicente de Paul, se realizó el mismo proceso de levantamiento de planos en las demás instituciones.

Figura 2. Planos de la institución educativa San Vicente de Paul



Fuente: Los autores

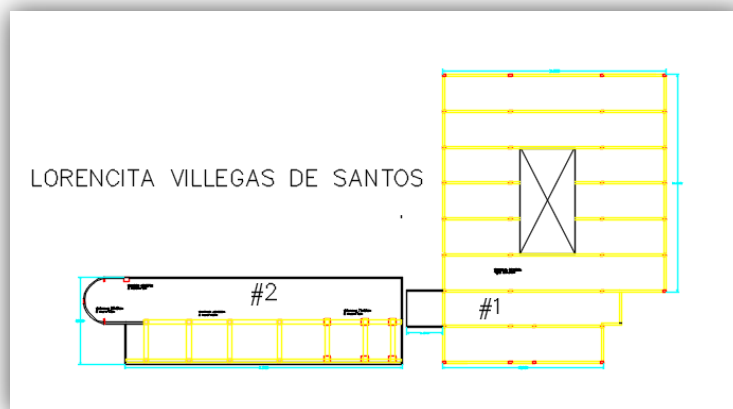


Figura 3. Planos de la institución educativa Lorencita Villegas de Santos

Fuente: Los autores

6.3 MODELACIÓN ESTRUCTURAL

Se cuenta con edificaciones de uno y dos pisos, esto lleva a obtener resultados diferentes. En el caso de las estructuras de un piso se hace un chequeo por tabla comparando las condiciones de los bloques con los requisitos mínimos de la NSR – 10 en el título E para muros estructurales y el título C.21 para pórticos. Y para las estructuras de 2 pisos, se realizará la modelación en el programa ETABS comparando los índices de sobre esfuerzo y la deriva con lo indicado en la NSR-10.

La modelación estructural se dividirá en, las instituciones educativas que cuentan con dos pisos y a su vez, se sub dividirán por el sistema estructural al que pertenecen ya sea pórticos o muros estructurales.

Se entrega como anexo el chequeo de la norma y la modelación estructural en medio magnético.

6.3.1 Estructuras de un piso

Se observa en el gráfico 1, que el 50% (8) de los bloques son estructuras de un piso y de estos el 14%% (1) de los bloques pertenecen al sistema estructural Pórticos, mientras el 86% (6) de los bloques pertenece el sistema de muros estructurales.

De las 5 instituciones educativas, 3 tienen al menos un bloque de 1 piso, estas instituciones educativas son: Escuela Antonia Santos-Juan XXIII, Escuela La Milagrosa Urbana, Escuela Simón Bolívar.

Se dividen los bloques de un piso en dos categorías (Pórticos y Muros Estructurales) debido a las condiciones y requisitos mínimos de cada edificación.

6.3.2 Pórticos.

Se compara los datos obtenidos por medio de la ficha de caracterización y el levantamiento de planos con lo indicado en la NSR-10 en el capítulo C.21, para esto se hacen los chequeos que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 5.Chequeo de pórticos para estructuras de un piso

Institución Educativa	Bloque	Columna min 30x30cm	Vigas min 25x30cm	Irregularidad en planta	Irregularidad en altura	Luz no mayor a 8m
Escuela La Milagrosa Urbana	3	30x30cm (OK)	30x30cm (OK)	Piso Regular (OK)	Altura 3m (OK)	4,5m (OK)

Fuente: Elaboración de los autores

6.3.3 Muros Estructurales

Se compara los datos obtenidos por medio de la ficha de caracterización y el levantamiento de planos con lo indicado en la NSR-10 en el capítulo C.21, para esto se hacen los chequeos correspondientes que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 6.Chequeo de muros estructurales para estructuras de un piso.

INSTITUCIÓN EDUCATIVA	BLOQUE	LONGITUD min MUROS		ÁREA COLM min (200cm ²)	ÁREA VIGAS min (200cm ²)
		X > Lmin	Y		
La Milagrosa Urbana	1	38,64 > 23,61 (OK)	59,41 > 23,61 (OK)	30cm x 30cm = 900cm ² (OK)	No posee (NO)
	2	15,04 > 18,71 (NO)	45,02 > 18,71 (OK)	No posee (NO)	No posee (NO)
Simón Bolívar	2	41,92 > 36,13 (OK)	90,72 > 36,13 (OK)	No posee (NO)	No posee (NO)
	3	23,92 > 5,13 (OK)	10,42 > 5,13 (OK)	No posee (NO)	No posee (NO)
Antonia Santos –	1	53,96 > 26,73 (OK)	48,46 > 26,73 (OK)	No posee (NO)	No posee (NO)

Juan XXIII	3	91,44 > 54,53 (OK)	76,04 > 54,53 (OK)	20cm x20cm = 400cm ² (OK)	No posee (NO)
------------	---	-----------------------	-----------------------	-----------------------------------------------	------------------

Fuente: Elaboración de los autores

6.3.4 Resultados del Chequeo para Estructuras de un piso

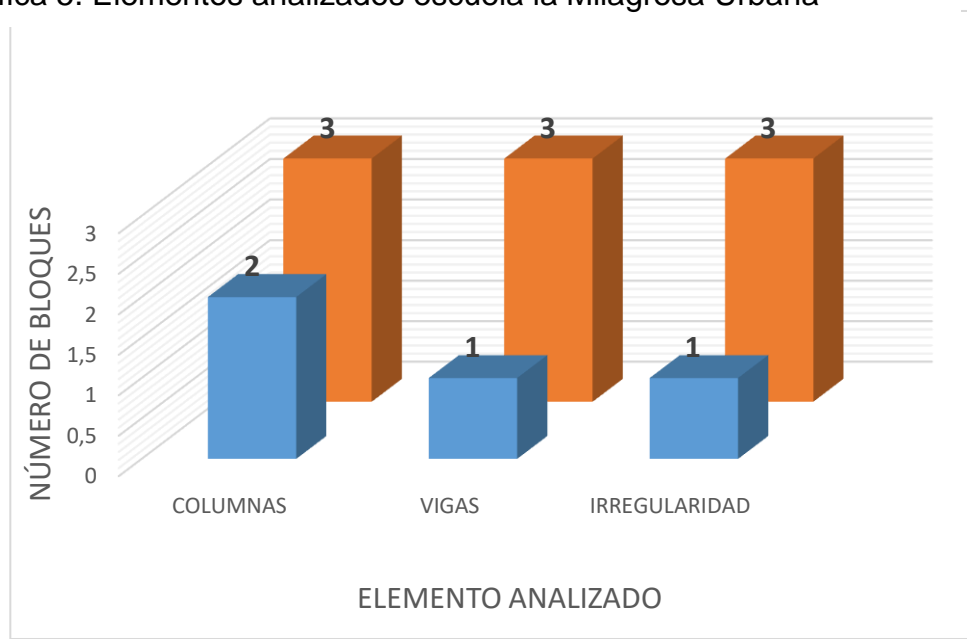
En la siguiente tabla, se muestra el resumen de los resultados de las tablas anteriores para realizar un análisis de forma más simple.

Tabla 7. Resultados de chequeos para estructuras de un piso.

INSTITUCIÓN EDUCATIVA	SISTEMA ESTR.PRED.	No. DE BLOQUES	BLOQUES QUE CUMPLEN LA NORMA			
			COLUM.	VIGAS	IRREGULARIDAD	MUROS
La Milagrosa Urbana	Muros Estructurales	3	2 (66,6%)	1 (33,3%)	1 (33,3%)	1 (33,3%)
Simón Bolívar	Muros Estructurales	3	0 (0%)	0 (0%)	1 (33,3%)	3 (100%)
Antonia Santos – Juan XXIII	Muros Estructurales	2	1 (50%)	0 (0%)	2 (100%)	2 (100%)

Fuente: Elaboración de los autores

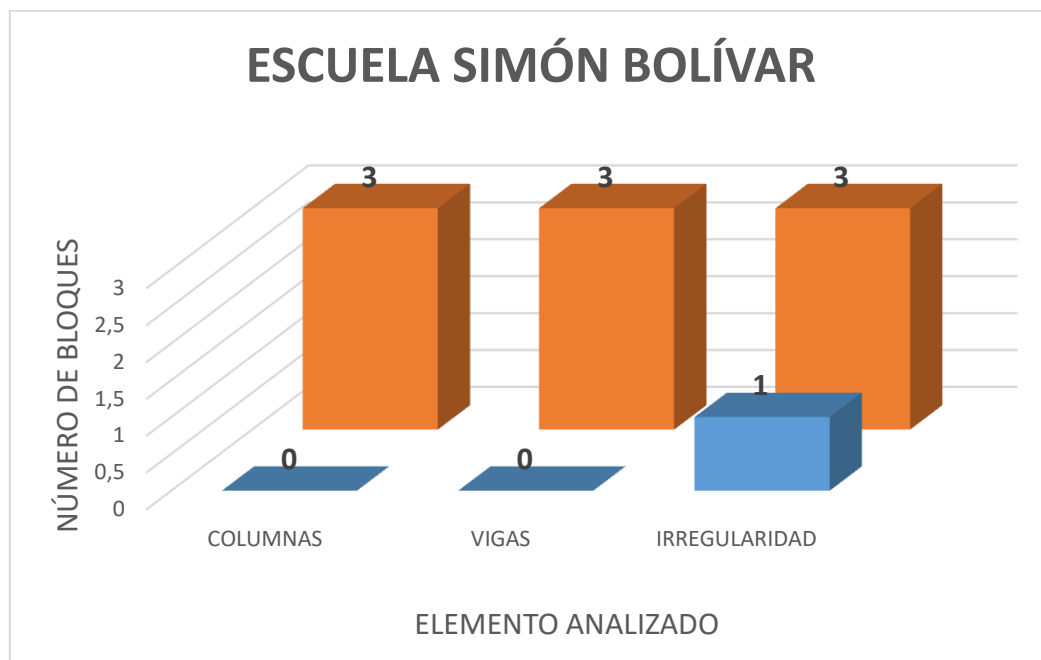
Gráfica 5. Elementos analizados escuela la Milagrosa Urbana



Fuente: Los autores

En el gráfico 5 se puede observar que 66,6% de los bloques cumple con las dimensiones mínimas de las columnas; el 33,3% de los bloques, lo que quiere decir que 1 bloque no presenta irregularidad en planta o altura, mientras que el 66,6% presenta irregularidad en planta; El 33,3%, o sea 1 bloque cumple con las dimensiones mínimas para vigas, lo que quiere decir que el 66,6% restante es necesario recalzar en aquellas vigas donde no se cumple las dimensiones mínimas para el elemento.

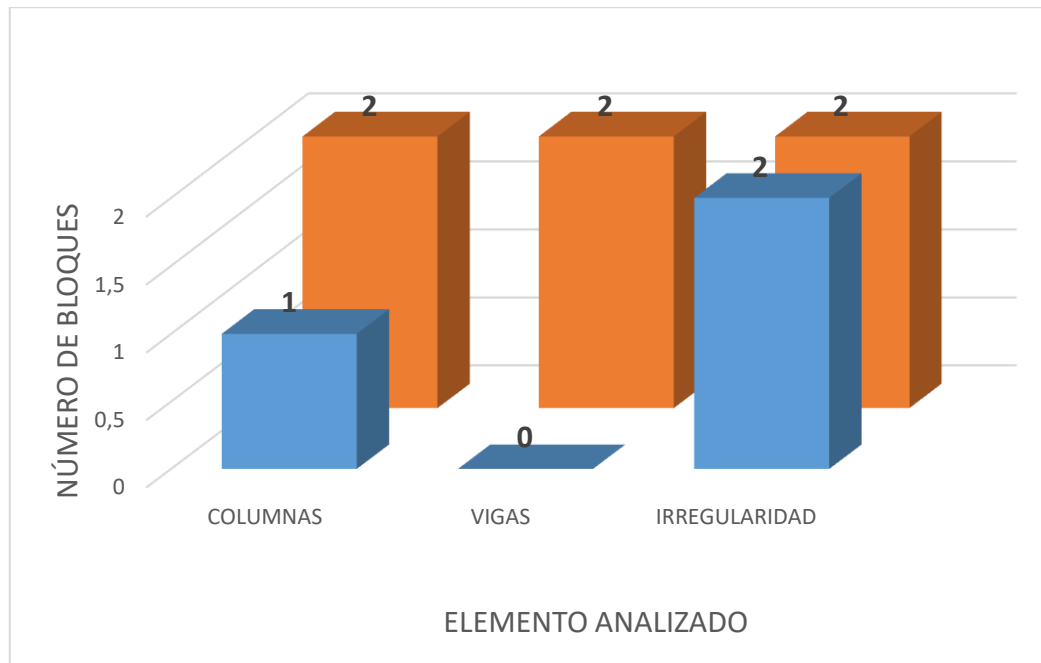
Gráfica 6. Elementos analizados Escuela Simón Bolívar



Fuente: Los autores.

En el gráfico 6. se puede observar que ninguno de los bloques cumple con las dimensiones mínimas requeridas en la norma para las columnas, esto mismo sucede con las vigas, ya que son bloques en los cuales su sistema estructural es de muros estructurales, los cuales sin cumplen con la longitud mínima de muros; El 33,3% de los bloques, lo que equivale a 1 bloque presenta irregularidad en planta o altura.

Gráfica 7. Elementos analizados Escuela Antonia Santos – Juan XXIII



Fuente: Los autores

En el gráfico 7, se puede evidenciar que el 50% de los bloques o sea 1 de ellos, cumple con las dimensiones mínimas requeridas para las columnas, lo que quiere decir que el 50% restante de los bloques de un solo piso no posee columnas, ya que es un sistema de muros; Ninguno de los bloques cuenta con vigas de amarre o de cualquier otro tipo por lo tanto es necesario la construcción de estas para ayudar a la resistencia de la estructura cumpliendo con las dimensiones mínimas de vigas; El 100% de los bloques presentan irregularidad en planta o altura.

6.3.5 Estructuras de dos pisos

Se observa en el gráfico 1, que el 44% (7) de los bloques cuentan con 2 pisos y de estos el 89% (8) de los bloques pertenecen al sistema estructural pórticos, mientras el 11% (1) de los bloques pertenece el sistema de muros estructurales.

De las 5 instituciones educativas, 4 tienen al menos un bloque de 2 pisos, éstas instituciones educativas son: Escuela Antonia Santos-Juan XXIII, Escuela Simón Bolívar, Institución Educativa Lorencita Villegas de Santos y Escuela San Vicente de Paul.

Se dividen los bloques de dos pisos en dos categorías (Pórticos y Muros Estructurales) debido a las condiciones y requisitos mínimos de cada edificación.

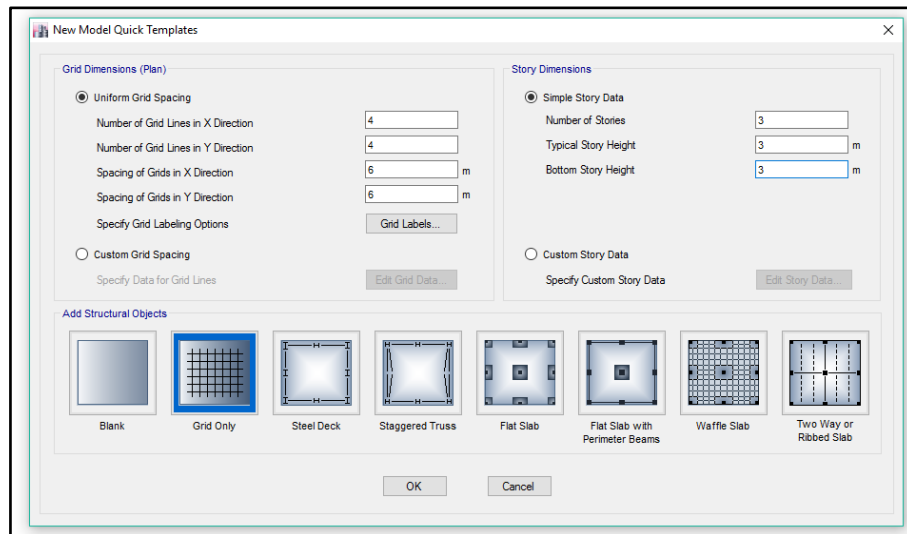
6.3.6 PROCEDIMIENTO MODELACIÓN ESTRUCTURAL

A continuación, se muestra el procedimiento para realizar la modelación estructural en el software ETABS del bloque 1 de la Institución Educativa Lorencita Villegas de Santos.

Como se ha mencionado anteriormente, es necesario tener el plano estructural o arquitectónico para proceder a la modelación.

- Se crea un nuevo modelo y se introducen las dimensiones y características del bloque (Altura, espaciamiento).

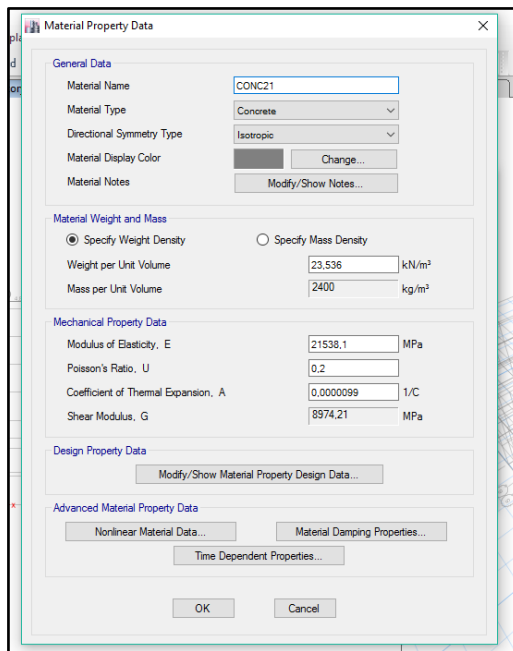
Figura 4.Espaciamiento de grilla y características.



Fuente: Etabs

- Se define el material que se va a utilizar; En este caso, por no realizar ensayos como núcleos y ferro escáner, se asume el concreto de 21MPa.

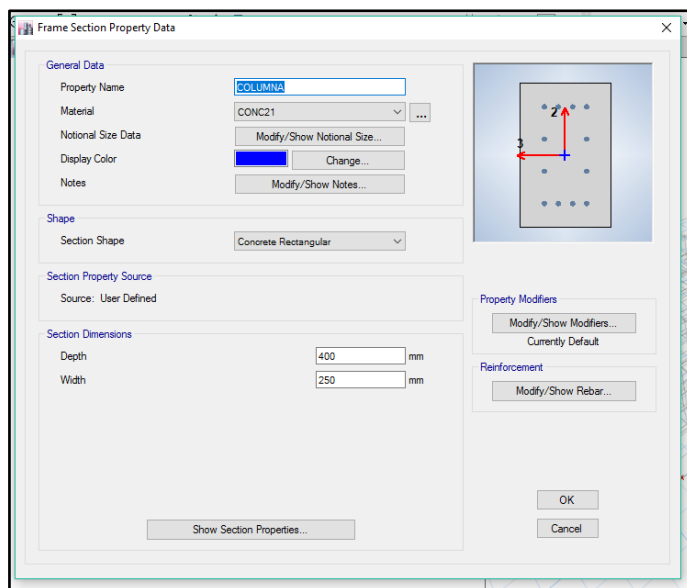
Figura 5.Propiedades de los materiales



Fuente: Etabs

- Se crean las columnas que posee el bloque y su cuantía.

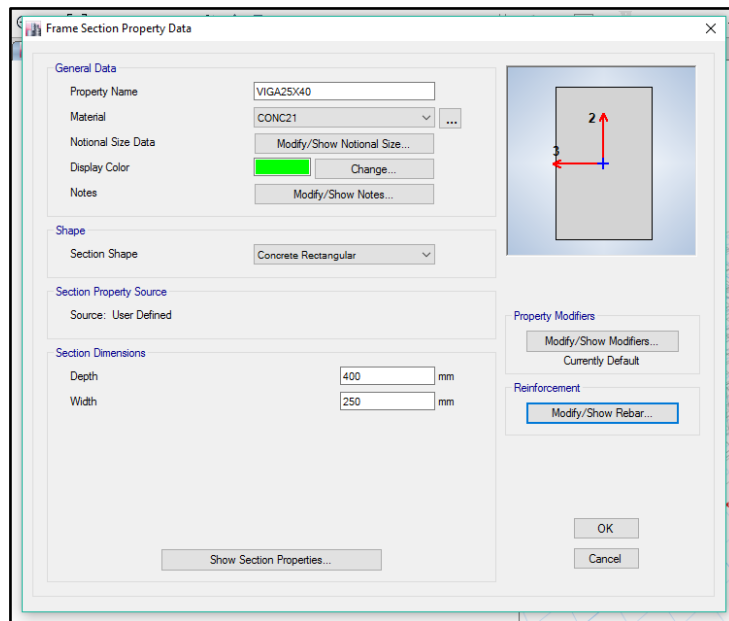
Figura 6. Secciones de columnas.



Fuente: Etabs

- Se definen las vigas y su cuantía.

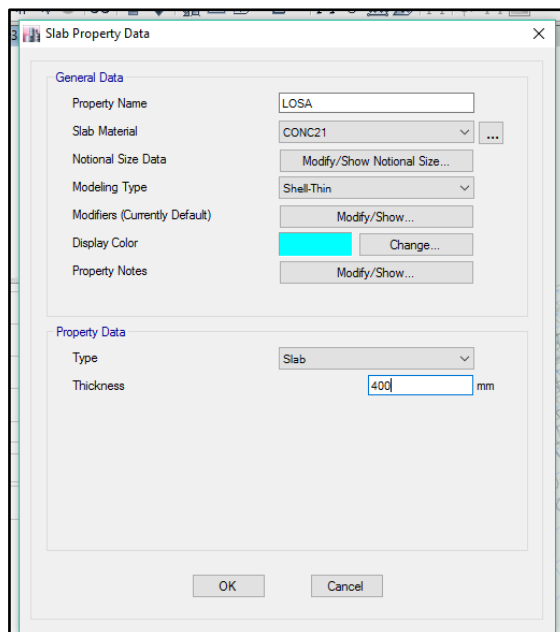
Figura 7. Secciones de vigas.



Fuente: Etabs

- Se define el entrepiso.

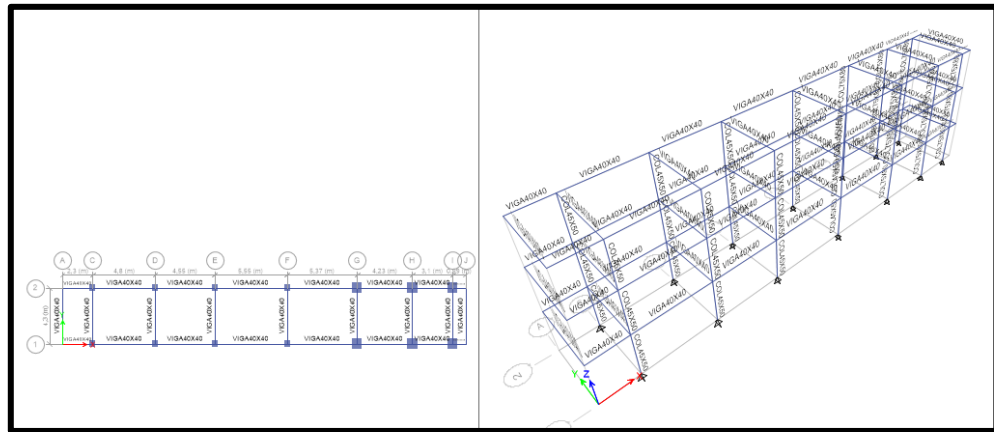
Figura 8. Propiedades del entrepiso.



Fuente: Etabs

- Se ingresan los elementos al modelo.

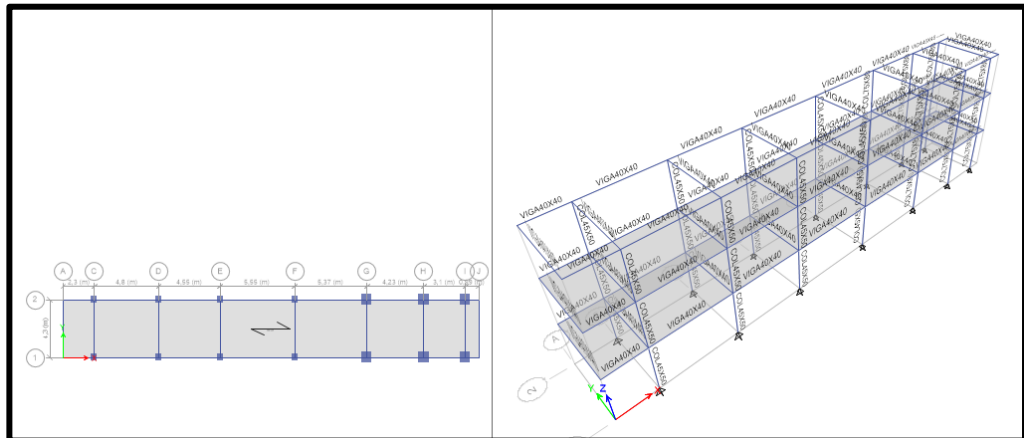
Figura 9. Estructura con elementos correspondientes.



Fuente: Etabs

- Se ingresa la losa.

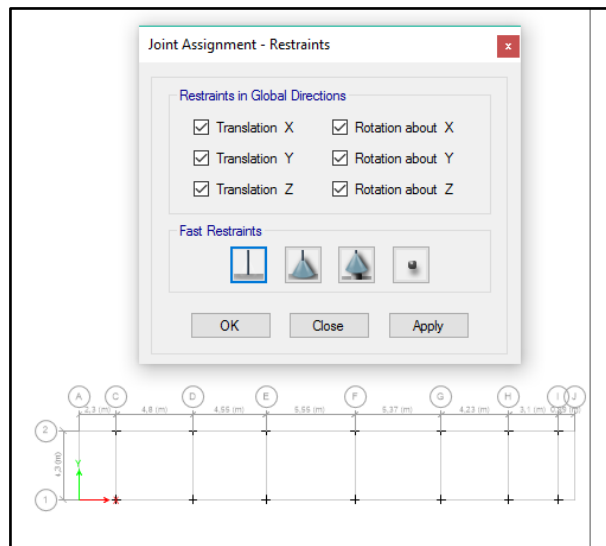
Figura 10.Estructura con losa.



Fuente: Etabs

- Se asignan los apoyos de la estructura (Empotramiento)

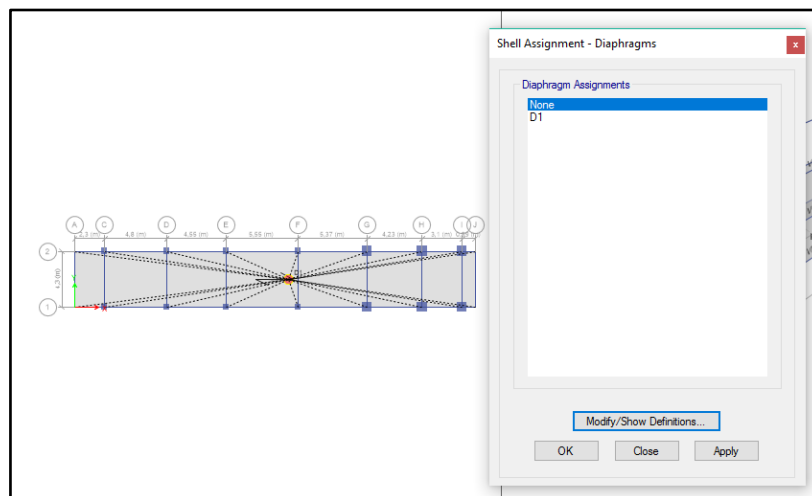
Figura 11.Empotramiento.



Fuente: Etabs

- Se asignan los diafragmas de cada piso.

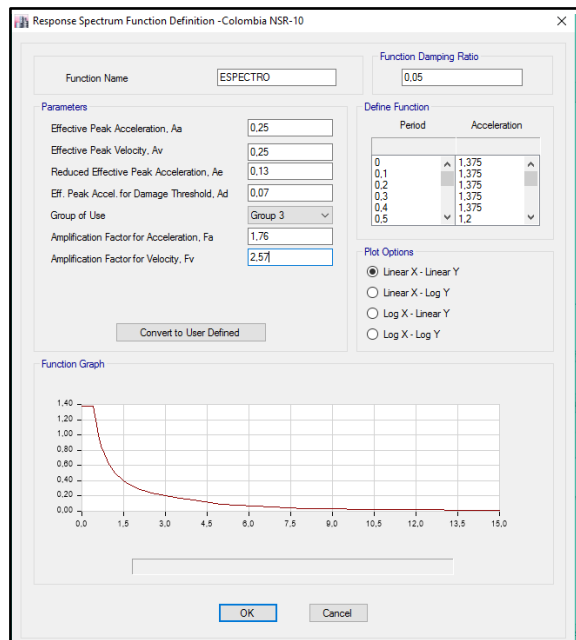
Figura 12.Diafragma



Fuente: Etabs

- Se ingresa el espectro de diseño de la región (Santa Rosa de Cabal).

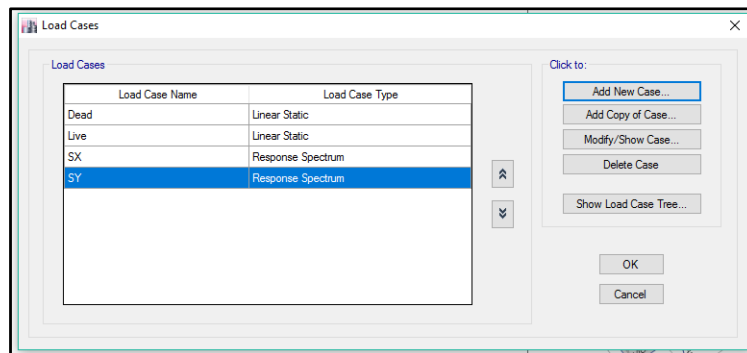
Figura 13.Espectro de diseño.



Fuente: Etabs

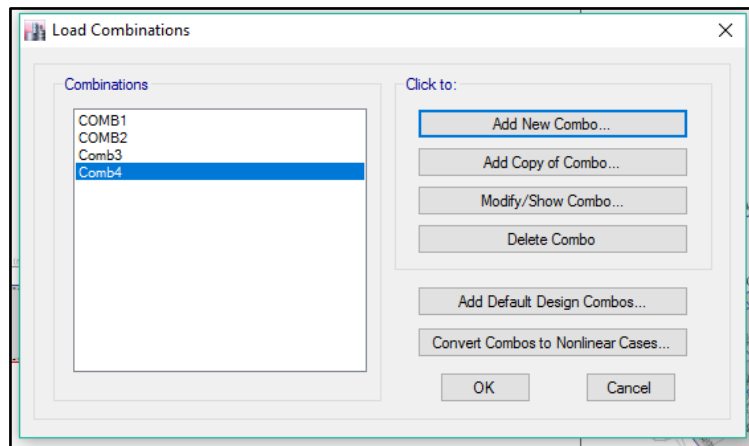
- Se asignan los casos de carga y las combinaciones de carga.

Figura 14.Cargas



Fuente: Etabs

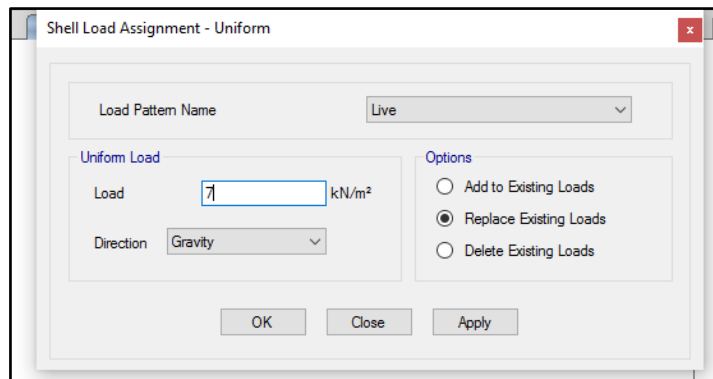
Figura 15.Combinaciones de cargas.



Fuente: Etabs

- Se asignan las cargas al entrepiso (Viva-Muerta).

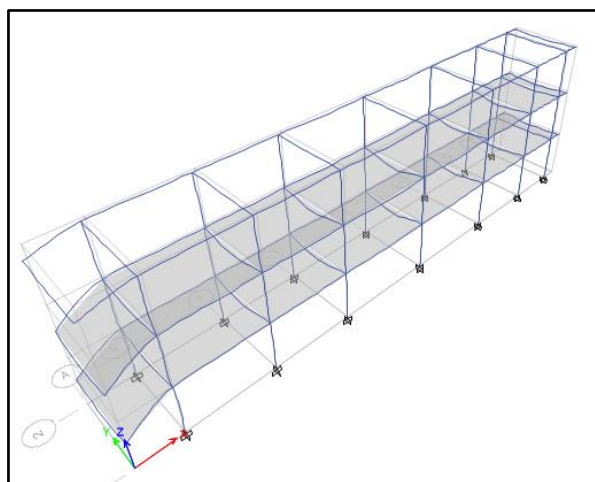
Figura 16.Cargas de entrepiso. (Viva-Muerta).



Fuente: Etabs

- Se procede a analizar la estructura.

Figura 17.Analisis final de la estructura.



Fuente: Etabs

6.4 RESULTADOS MODELACIÓN ESTRUCTURAL.

En la tabla 8 se muestran los resultados de la modelación estructural de las edificaciones que tienen al menos 1 bloque con 2 pisos, se entrega como Anexo.

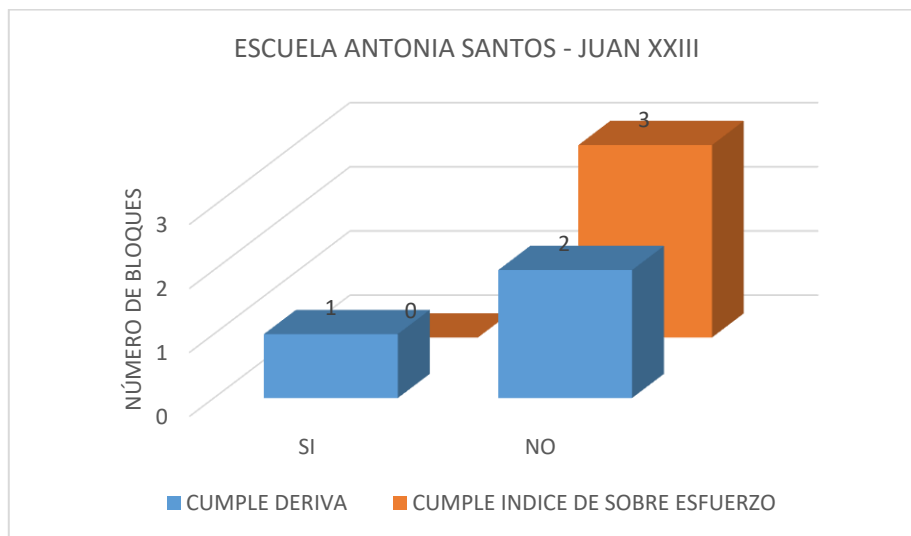
Tabla 8. Resultados de la modelación estructural de las escuelas

INSTITUCIÓN EDUCATIVA	BLOQUE	CUMPLE DERIVA		CUMPLE ÍNDICE DE SOBRE ESFUERZO	
		SI	NO	SI	NO
Antonia Santos – Juan XXIII	3	1	2	0	3
San Vicente de Paul	3	3	0	0	3
Lorencita Villegas de Santos	2	1	1	0	2
TOTAL	8	5	3	0	8

Fuente: elaboración de los autores

A continuación, se analizan los resultados de la tabla 9.

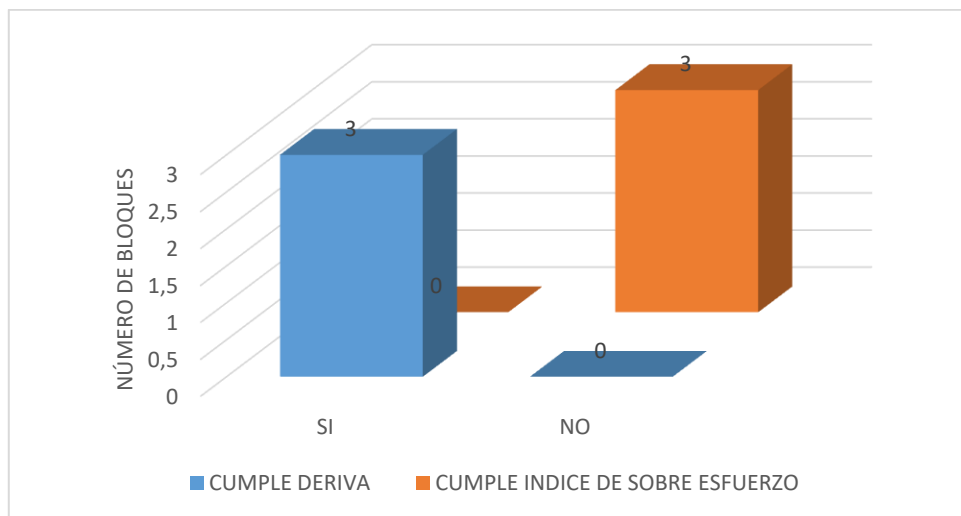
Gráfica 8. Modelación estructural de la escuela Antonio Santos –Juan XXIII



Fuente: Los autores.

En el gráfico 8 se puede observar que, de los tres bloques analizados, uno de ellos cumple con las derivas, pero no con el índice de sobre esfuerzo como se estipula en la NSR-10. Y ninguno de los bloques cumple con el índice de sobre esfuerzo.

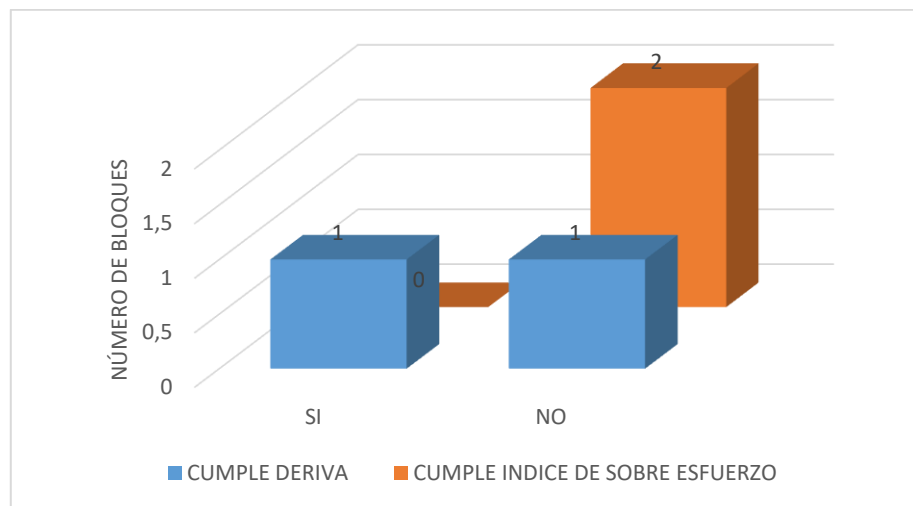
Gráfica 9. Modelación estructural de las escuelas San Vicente Paul



Fuente: Los autores

El gráfico 9 se puede decir que los tres bloques analizados para Escuela San Vicente de Paul cumplen con las derivas y ninguno de los bloques con el índice de sobre esfuerzo como se estipula en la NSR-10

Gráfica 10. Modelación estructural de la Institución Lorencita Villegas de Santos



Fuente: Los autores

En el gráfico 10 se puede analizar que los dos bloques estudiados para la Institución Educativa Lorencita Villegas de Santos no cumplen con el índice de sobre esfuerzo como se estipula en la NSR-10, y solo uno de ellos cumple con las derivas.

Como un análisis general sobre las instituciones educativas de dos pisos se puede decir que:

- En todas las estructuras de dos pisos se puede decir que no cumplen con los requisitos mínimos de la NSR-10.
- Las instituciones educativas cumplen con la norma ya que en los últimos años no se ha realizado en ellas alguna remodelación o intervención.
- En los 8 bloques analizadas se cumplió con la deriva, pero no con el índice de sobre esfuerzo.

- Los 8 bloques estudiados tienen la posibilidad de resistir sismos, pero no se garantiza su estabilidad, ya que no cumplen con los parámetros mínimos de la norma NSR-10 y fueron comprobados para este suceso.

6.5 ESTRUCTURA EN MADERA (ESCUELA SIMÓN BOLÍVAR).

La madera como material de construcción tiene muchas propiedades, como lo son su dureza, resistencia, rigidez y densidad. Pero uno de los factores que más influye en ella y en sus demás propiedades, es la humedad, ya que en algunas ocasiones se supera el punto de saturación, y por esta razón desprende humedad, las variaciones hacen que la madera se hinche o se contraiga variando su volumen y por consiguiente su densidad.

La Institución Educativa Nacional Francisco José de Caldas, tiene como sede la Escuela Simón Bolívar construida en el año 1848, y teniendo como material predominante de construcción la madera. El bloque construido en este material cuenta con dos pisos; y las partes construidas en madera son las paredes, los pisos, techos, y su sistema estructural igualmente. En este caso, la escuela por su antigüedad, y el material igualmente por su vulnerabilidad al medio ambiente y a su durabilidad limitada, la madera ya se encuentra deteriorada, afectado así a la mayoría del personal presente en la institución, por peligro de colapso, la gran parte del bloque estudiado en este material se encuentra cerrado para el público estudiantil y administrativo.

Se procede a una descripción profunda de la edificación, ya que ésta presenta daños significativos y severos en toda la estructura, siendo así una edificación que, por su antigüedad y sus daños, lleva a concluir que no cumple con ninguna característica y especificación de la norma NSR-10.

La Escuela cuenta con 2 plantas, en la primera planta se encuentran salones y la cafetería, los cuales se encuentran en un estado crítico, ya que la madera con la cual están contruidos presenta graves signos de deterioro, haciendo aún más vulnerable toda la estructura en general. En la primera planta también se encuentran 29 columnas de concreto de 35cmx35xm y de 40cmx40cm, siendo la única parte de la edificación que cuenta con columnas en concreto.

La segunda planta de la estructura es para el personal administrativo, ya que varias aulas de esta planta están cerradas debido a su mala condición estructural. La losa de entrepiso está hecha de madera igualmente, lo que impone un riesgo para la sociedad presente. Las columnas y vigas también presentan un grado alto de vulnerabilidad, ya que también están construidas en madera y se ven afectadas por la humedad.

En el año 2015, la escuela fue remodelada con nuevos techos, paredes reconstruidas, salones y baños; pero esta remodelación no influía en el sistema estructural que es hoy un día el mayor problema de vulnerabilidad que presenta la institución.

A continuación, se presenta la solución para reducir el problema de vulnerabilidad que presenta el bloque1, teniendo en cuenta que esta edificación pertenece al patrimonio histórico del municipio: La madera de todo el sistema estructural debe ser sustituida por una nueva que cumpla con los requisitos y características presentes en el título G de la norma NSR-10; esta solución aplica para toda la estructura, ya que toda esta hecha en este material.

7. MODIFICACIONES RECOMENDADAS PARA LAS INSTITUCIONES EDUCATIVAS ANALIZADAS

Debido a que el daño estructural de una edificación indispensable tiene consecuencias no solo a nivel de costos, sino también de pérdidas humanas, se hace necesario, el estudio de la seguridad estructural de este tipo de edificaciones que son de vital importancia. Con el paso de los años, se han utilizado una variedad de técnicas de reparación o refuerzo para mejorar la respuesta estructural frente a un sismo de fuerte magnitud o terremoto; y la necesidad de mejora y de adecuación anti sísmica del patrimonio escolar se hace cada vez más necesaria como resultado de un mayor conocimiento de la demanda sísmica de las estructuras, que se deriva de las experiencias de sismos de gran intensidad que se han presentado en los últimos años.

A continuación, se mencionan las diferentes mejoras que necesita cada Institución analizada:

Tabla 9. Requerimientos de mejoramiento de las instituciones educativas

INSTITUCIÓN EDUCATIVA	PROBLEMAS PRESENTES	SOLUCIÓN PLANTEADA
ESCUELA ANTONIA SANTOS - JUAN XXIII	<ul style="list-style-type: none"> • Grietas en los muros estructurales • Humedad • Desnivel de la losa • Deterioro del cielo raso • Secciones insuficientes en elementos de confinamiento 	<ul style="list-style-type: none"> • Inyección de mortero o resinas epóxicas. • Reconstrucción local (Reemplazo de mampostería deteriorada). • Adición de mortero para nivelación. • Cambio de la estructura del cielo raso. • Aumento de secciones y refuerzo de elementos estructurales.
ESCUELA SAN VICENTE DE PAUL	<ul style="list-style-type: none"> • Grietas • Humedad • Secciones insuficientes en elementos de confinamiento 	<ul style="list-style-type: none"> • Inyección de mortero o resinas epóxicas. • Reconstrucción local (Reemplazo de mampostería deteriorada). • Aumento de secciones y refuerzo de elementos estructurales.
INSTITUCIÓN EDUCATIVA	<ul style="list-style-type: none"> • Grietas en muros y columnas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Inyección de mortero o resinas epóxicas y un encamisado de concreto (construir

INSTITUCIÓN EDUCATIVA	PROBLEMAS PRESENTES	SOLUCIÓN PLANTEADA
LORENCITA VILLEGAS DE SANTOS	<ul style="list-style-type: none"> • Secciones insuficientes en elementos de confinamiento 	<p>una estructura que recubra el elemento original).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aumento de secciones y refuerzo de elementos estructurales.
ESCUELA LA MILAGROSA URBANA	<ul style="list-style-type: none"> • Grietas en paredes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Inyección de mortero en las grietas.

8. CONCLUSIONES

Se concluye que la comunidad educativa está en un nivel alto de riesgo en caso de sismo de alta magnitud puesto que las estadísticas son preocupantes y ninguna de las instituciones cumple con los requisitos de la norma NSR-10 y la mayoría de ellas se encuentran en un alto nivel de deterioro.

De las Instituciones Educativas analizadas, el 56.25% (9) de los bloques tiene como sistema estructural pórticos, mientras el 43,75% (7) tiene como sistema estructural muros, esto ayudó a clasificar y a determinar las condiciones mínimas para cada bloque y las mejoras que tendrían en el caso de no cumplir con los requisitos mínimos.

Al empezar el estudio se obtuvo que el 68,75% (11) de los bloques tenían columnas, mientras el 31,25% (5) no tenían columnas, al terminar de realizar las modificaciones recomendadas con las condiciones mínimas de la NSR-10 se puede decir que los bloques que no poseen columnas, deberían tenerlas; y de los bloques que tienen columnas deben cumplir con las dimensiones mínimas para este elemento.

Al empezar el estudio se obtuvo que el 50% (8) de los bloques tenían vigas, mientras el 50% (8) no tenían vigas, al terminar de realizar las modificaciones recomendadas con las condiciones mínimas de la NSR-10, se puede decir que el 100% de los bloques deberían tener vigas y cumplir con las dimensiones mínimas para este elemento.

El 87,5% (14) de los bloques no poseen planos de ningún tipo, lo cual refleja el estado en que se encuentran las instituciones educativas, esto es relevante ya que indica que se tuvo que realizar un levantamiento del 87,5% de los bloques para la realización del estudio.

Al terminar el estudio el 100% (16) de los bloques contará con planos estructurales donde se detallan las características de cada bloque.

De las instituciones analizadas el 43,75% (7) de los bloques son estructuras de 1 piso, mientras el 56,25% (9) de los bloques son estructuras de 2 pisos; esto indico el comportamiento a estudiar de los diferentes bloques ya que se analizaron dependiendo del número de pisos y el sistema estructural ya que estas son variables de gran importancia a la hora de la ocurrencia de un sismo.

El levantamiento de los planos realizados en los 16 bloques de las 5 diferentes instituciones educativas tuvieron la importancia de que: Los planos muestran los detalles de las secciones de los elementos de los bloques analizados, los programas de modelación estructural trabajan con los detalles en planta de una edificación, la base de la modelación estructural es el diseño estructural y/o arquitectónico que se registra en los planos.

El 43,75% (7) de los bloques son estructuras de un piso y de estos el 14,28% (1) de los bloques pertenecen al sistema estructural Pórticos, mientras el 56,25% (9) de los bloques pertenece el sistema de muros estructurales, esto indico el análisis que se debió realizar a cada bloque ya que los pórticos se analizan con el capítulo C.21 de la NSR-10 y para mampostería estructural se utiliza el título E de la NSR-10.

La escuela Antonia Santos - Juan XXIII es de las instituciones educativas que más daños presenta en su estructura, ya que en los 5 bloques que componen la escuela se presentan graves daños estructurales, lo que pone en peligro la vida de todas las personas allí presentes en caso de un eventual sismo.

De la Institución Educativa La Milagrosa Urbana, se puede determinar que,

de los 3 bloques estudiados, el 33,3 % (1) de los bloques no posee vigas, y sus columnas cumplen con las dimensiones mínimas requeridas por la NSR-10. La escuela también cumple con la longitud mínima de muros.

La escuela Simón Bolívar no posee el área mínima en vigas y columnas; lo que hace necesario un estudio estructural para el dimensionamiento de los elementos de confinamiento. Adicionalmente, no se realizó modelado estructural debido a su material de construcción (madera).

La Institución Educativa Lorencita Villegas de Santos, es la estructura mejor edificada, ya que era la única institución que no presentaba daños severos; y la única que contaba con los planos estructurales y arquitectónicos.

La Institución Educativa San Vicente de Paul, es una edificación con sistema combinado de muros estructurales y pórticos. El mayor riesgo que presenta es su irregularidad en planta y en altura.

Ninguna de las estructuras de 2 pisos cumple con los requisitos mínimos de la NSR-10, en cuanto a deriva e índice de sobre esfuerzo.

Una parte importante del estudio es la vulnerabilidad funcional y de acuerdo a las fichas de caracterización se pudo comprobar que 5 instituciones educativas estudiadas (100%) presentan una vulnerabilidad funcional por ende la importancia de realizar este tipo de estudio.

9. RECOMENDACIONES

GENERALES

Realizar más estudios de vulnerabilidad estructurales de las edificaciones indispensables para reducir y evitar amenazas y/o emergencias.

Se debe tener claridad en la teoría de las patologías estructurales y un conocimiento mínimo acerca de esto, para poder dar resultados ya que no se cuentan con los laboratorios respectivos para este tema.

Iniciar con los procesos administrativos en las correspondientes entidades encargadas de tramitar los permisos para el ingreso a las Instituciones Educativas, antes de empezar con las evaluaciones estructurales.

Realizar en estudios futuros técnicas de ferro escáner y extracción de núcleos que ayuden a determinar la resistencia del concreto y la distribución del acero para facilitar y ayudar a la obtención de datos reales y de aplicación en campo.

ESTRUCTURALES

Es recomendable que la administración municipal realice un estudio más detallado de las Instituciones Educativa, velar por su seguridad y tomar acciones a corto y mediano plazo, ya que ninguna de ellas cumple con los requisitos mínimos que exige la norma NSR-10 para edificaciones indispensables.

Se sugiere realizar una valoración más profunda de cada uno de los elementos estructurales de las edificaciones estudiadas. Se pueden realizar estudios del suelo, ya que fue el principal impedimento en este proyecto para conocer el tipo y las condiciones de la cimentación de cada una de las estructuras evaluadas.

Realizar técnicas de ferro escáner y extracción de núcleos, que ayudan a determinar la resistencia del concreto y la distribución del acero, ya que son datos de gran importancia, que en este estudio se tuvieron que asumir.

Se hace necesario y recomendable que las Instituciones Educativas o construcciones futuras que se vayan a analizar, tengan planos estructurales y/o arquitectónicos, ya que aportan información relevante para al desarrollo del estudio investigativo.

Se recomienda involucrar factores basados en estudios más detallados en el momento de presupuestar el costo de la posible mejora de los elementos vulnerables de las estructuras analizadas.

BIBLIOGRAFÍA

AGUIAR , Roberto . Análisis Sísmico de Edificios. Primera Edición. Quito : Centro de Investigaciones Científicas, 2008.

BONETT DÍAZ, Ricardo. Vulnerabilidad y riesgo de edificios. Aplicación a entornos urbanos en zonas de amenaza alta y moderada. [En línea] 2003. [Citado el: 21 de octubre de 2017.] <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6230/01CAPITULO0.pdf?sequence=1>.

BOZZO , Luís y BARBAT, Alex. Diseño Sismo Resistente de Edificaciones. [ed.] Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona : Editorial Reverte, S.A, 2013.

CARDER. 2000. Base ambiental con énfasis en riesgos municipio de santa rosa de cabal. [En línea] 2000. [Citado el: 15 de julio de 2017.] www.carder.gov.co/intradocuments/.../base-ambiental-de-riesgo-santa-rosa-.
—. 2000. Base ambiental con énfasis en riesgos municipio de Pereira. [En línea] 2000. [Citado el: 26 de septiembre de 2017.] www.carder.gov.co/intradocuments/webDownload/base-ambiental-de-riesgo-pereira-.

Diagnóstico de riesgos Santa Rosa de Cabal - CARDER. [En línea] 2010. [Citado el: 25 de septiembre de 2017.] www.carder.gov.co/intradocuments/.../diagnostico-riesgo-santa-rosa-de-cabal.

CARDONA, Cristian, MEDINA LOPEZ, Gionany y SERNA RESTREPO, David. Evaluación de la vulnerabilidad estructural de las edificaciones indispensables del sector educación del grupo III en el municipio de Dosquebradas, Risaralda. [En línea] 2016. [Citado el: 18 de septiembre de 2017.]

<http://repositorio.unilibrepereira.edu.co:8080/pereira/bitstream/handle/123456789/678/EVALUACION%20DE%20LA%20VULNERABILIDAD%20%20ESTRUCTURAL.pdf?sequence=1>.

ESPINOZA, Luis. Derrumbe del liceo RMC durante el terremoto de Cariaco de 1.997. LOPEZ, Oscar y 2007. 2, julio de 2007, IMME, Vol. 45.

MUÑOZ , Edardo, y otros Estimación de la vulnerabilidad sísmica de una edificación indispensable mediante confiabilidad estructural.. 2006. 1, Bogotá : s.n., marzo de 2006, IMME, Vol. 44.

SALGADO , Mario, y otros. Evaluación de la amenaza sísmica de Colombia. Actualización y uso en las nuevas normas colombianas de diseño sismo resistente NSR-10.. 2010. 32, 2010, Revista de Ingeniería, págs. 28-37.

—. SALGADO, Mario , y otros. 2010, Revista de Ingeniería, Vol. 32, págs. 28-37.

HIBBELER, Russel . 2012. Análisis Estructural. Octava Edición. México : Pearson Educación, 2012.

IZQUIERDO HERNANDO, César, ALFARO GIL, Antonio y PEÑAFIEL DE PEDRO, Carlos. Manual de riesgos tecnológicos y asistencias técnicas. Edificaciones. [En línea] 2015. [Citado el: 28 de septiembre de 2017.] <http://ceis.antiun.net/docus/pdfsonline/m3/m3-riesgostecnologicos-v12-01-edificacionesapeos/m3-riesgostecnologicos-v12-01-edificacionesapeos.pdf>.

LLANOS LÓPEZ, Lina y VIDAL GÓMEZ, Lina. Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de escuelas públicas de Cali: una propuesta metodológica. [En línea] 2003. [Citado el: 25 de octubre de 2017.] http://www.osso.org.co/docu/tesis/2003/eva_escuelas/informe_final.pdf.

MALDONADO RONDON, Esperanza, GÓMEZ ARAÚJO, Ivan y CHIO CHO, Gustavo. Aplicación de los conjuntos difusos en la evaluación de los parámetros de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones de mampostería. [En línea] 2007. [Citado el: 26 de octubre de 2017.] <http://www.scielo.org.co/pdf/inde/n22/n22a02.pdf>.

MELONE, Salvador. Vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales. Barcelona : Universidad Politécnica de Cataluña Escuela Técnica Superior de Ingenieros de, 2002.

MENA HERNANDEZ, Ulises. Evaluación del riesgo sísmico. en zonas Urbanas. [En línea] 2002. [Citado el: 15 de octubre de 2017.] <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/93534/01INDICE.pdf>.

MIN DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO AMBIENTAL. Reglamento colombiano para el regimen de cosntrucciones sismo resistentes NSR-10. [En línea] 2010. [Citado el: 3 de noviembre de 2017.] <https://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/titulo-a-nsr-100.pdf>.

MINISTERIO DE AMBIENTE , VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10. [En línea] 2010. [Citado el: 20 de octubre de 2017.] <https://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/titulo-a-nsr-100.pdf>.

MORENO GONZÁLEZ, Carmen. Análisis de daños estructurales causados por sismos en escuelas públicas de Republica Dominicana: Reparación y propuesta de mejora de elementos estructurales de hormigón armado antes y después de un sismo . [En línea] 2014. [Citado el: 20 de septiembre de 2017.]

<http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/24633/20141210%20TFM%20Carmen%20Moreno.pdf?sequence=1>.

MUÑOZ, Edgar, RUIZ, Daniel y RAMOS, A. Estimación de la vulnerabilidad sísmica de una edificación indispensable mediante confiabilidad estructural. [En línea] 2006. [Citado el: 20 de septiembre de 2017.] http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0376-723X2006000100004.

PELÁEZ ORTIZ , Andrea. Anlisis de la vulnerabilidad del sistema territorial para el municipio de Armenia, Quindio. [En línea] 2014. [Citado el: 21 de octubre de 2017.] <http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/1792/1/An%C3%A1lisis-vulnerabilidad-sistemateritorial-Armenia.pdf>.

PERALTA, Henry, y otros. Evaluación de la vulnerabilidad física por terremoto y sus fenómenos asociados en poblaciones del litoral de Nariño. [En línea] 2003. [Citado el: 25 de septiembre de 2017.] http://www.osso.org.co/docu/congresos/2003/congreso_Ing_sismica.pdf.

RED SISMOLOGÍCA DE COLOMBIA. Conceptos básicos. [En línea] 2015. [Citado el: 20 de octubre de 2017.] <http://200.119.88.135/RSNC/index.php/material-educativo/conceptos-basicos>.

SANTANDER REINEL, Nadia. Estimación de daños y pérdidas en bienes y personas ante la posibilidad de ocurrencia de un evento sísmico en el barrio alto Jordán de la ciudad de Santiago de Cali. [En línea] 2013. [Citado el: 10 de noviembre de 2017.] bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/7568/1/CB-0495143.pdf.

SERVICIO GEOLOGÍCO DE COLOMBIA. Geoemtría natural. [En línea] 2015. [Citado el: 25 de octubre de 2017.] <https://www2.sgc.gov.co/paginas/default.aspx>.

UGARTE, Alexander. Metodología de modelación de escenarios de riesgo sísmico en Managua, Nicaragua . [En línea] 2010. [Citado el: 20 de octubre de 2017.] <https://www.lamjol.info/index.php/NEXO/article/download/34/3>.

Utilización de los mapas de microzonificación sísmica en el análisis de la vulnerabilidad y la evaluación del riesgo sísmico de áreas urbanas en Cuba. GONZÁLEZ , Bertha. 2006. 4, Caracas : s.n., diciembre de 2006, Rev. Fac. Ing. UCV, Vol. 21.

VALENCIA BARRERA , Gonzalo. Acciones para la reconstrucción del eje cafetero: memoria colectiva de un proceso. [En línea] 2000. [Citado el: 25 de octubre de 2017.] <https://www.federaciondecafeteros.org/static/.../Acciones%20para%20la%20reconstru>.

Vulnerabilidad sísmica de centros poblados. Un caso de estudio: sector Pan de Azúcar, MONTILLA MORENO, Pedro y CASTILLO GANDICA, Agimiro. Mérida. Estado Mérida-Venezuela.. 2012, DIALNET, págs. 277-295.

